



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Análisis de calidad de energía eléctrica en la Empresa textil Etiquetex S.A.
ubicada en el cantón Quito, mediante la REGULACIÓN ARCERNR 002/20**

Visarrea Lima, Luis Alberto

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

08 de febrero de 2022

Latacunga



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMÉCANICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “**Análisis de Calidad de Energía Eléctrica en la empresa textil Etiquetex S.A. ubicada en el Cantón Quito, mediante la Regulación ARCERNNR 002/20**”. Fue realizado por el estudiante **Visarrea Lima, Luis Alberto**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 08 de febrero de 2022



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON
RODRIGO FREIRE
LLERENA**

Ing. Freire Llerena Washington Rodrigo

C.C.:180191088-4



Calidad de Energia - Tesis Luis Visarrea.pdf

Scanned on: 1:59 February 10, 2022 UTC



Firmado electrónicamente por:
WASHINGTON
RODRIGO FREIRE
LLERENA



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	537
Words with Minor Changes	256
Paraphrased Words	700
Ommited Words	1021



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMÉCANICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Visarrea Lima, Luis Alberto**, con cédula de ciudadanía n° 1721980801 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“Análisis de calidad de energía eléctrica en la Empresa textil Etiketex S.A. ubicada en el cantón Quito, mediante la REGULACIÓN ARCERNNR 002/20”**. Es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, respetando derechos intelectuales, cuyas fuentes se incorporaron en la bibliografía. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 08 de febrero de 2022

Visarrea Lima, Luis Alberto

C.C.: 172198080-1



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMÉCANICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Visarrea Lima, Luis Alberto**, con cédula de ciudadanía n° 1721980801, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Análisis de calidad de energía eléctrica en la Empresa textil Etiquetex S.A. ubicada en el cantón Quito, mediante la REGULACIÓN ARCERNR 002/20”**. en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 08 de febrero de 2022

Visarrea Lima, Luis Alberto

C.C.: 172198080-1

Dedicatoria

Este trabajo de titulación se lo quiero dedicar primero a Dios, por cuidarme en todo momento, por darme fortaleza en los momentos más difíciles, por darme salud y permitirme llegar hasta este momento.

A mi familia....

.

A mi hermana Isabel y cuñado José, no tengo palabras para poderles agradecer por todo lo que han hecho por mí, los quiero mucho

A mis sobrinas Amaya y Celeste, desde el momento que llegaron a nuestras vidas, nos han alegrado con sus ocurrencias y forma de ser, son y serán una razón para mí, para siempre seguir adelante.

Y en especial a mi madre María Isabel, por acompañarme a cada instante, por darme su apoyo incondicional sin importar las situaciones difíciles, por la motivación, por los valores que me ha inculcado y por todo su amor, gracias a usted, hoy estoy aquí. Le dedico este trabajo de titulación esperando que Dios nos brinde salud y vida para cumplir aquella promesa que hice de niño. Le amo con la vida mami.

Visarrea Lima, Luis Alberto

Agradecimiento

Gracias a todas esas personas que formaron parte de este proceso, docentes, amigos y familia en especial a mi madre, la persona que me ha cuidado en todo momento y me ha apoyado de manera incondicional, todo se lo debo a usted. Le amo mami

A mis docentes por compartir sus conocimientos y tiempo en el desarrollo profesional de mi carrera, un especial agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Washington Freire por toda su guía y conocimientos transmitidos para poder finalizar este trabajo.

Al Ing. Galo Cabezas y Econ. Viviana Gaibor propietarios de la Empresa Etiquetex S.A por permitirme realizar este trabajo de titulación en sus instalaciones junto a toda la calidez humana que me brindaron al abrirme sus puertas. Les quedo eternamente agradecidos

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga por impartirme su conocimiento a lo largo de este camino.

Visarrea Lima, Luis Alberto

Tabla de contenido

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación de contenido	3
Responsabilidad de auditoria.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Tabla de contenidos.....	12
Índice de Tablas	12
Índice de Figuras.....	14
Resumen	16
Abstract.....	17
Problema de Investigación	18
Planteamiento del problema.....	18
Antecedentes.....	19
Justificación e importancia	20
Objetivos.....	21
<i>Objetivo General</i>.....	21
<i>Objetivos Específicos</i>	21
Marco Teórico.....	23

Antecedentes Investigativos	23
Fundamentación Teórica	24
<i>Energía eléctrica.....</i>	<i>24</i>
<i>Calidad de energía eléctrica</i>	<i>25</i>
<i>Origen de las perturbaciones</i>	<i>27</i>
<i>Perturbaciones comunes en la red eléctrica</i>	<i>28</i>
<i>Tipos de cargas</i>	<i>37</i>
<i>Analizador de Carga Fluke 434.....</i>	<i>38</i>
Fundamentación Conceptual	39
Fundamentación Legal	39
<i>Normas para el control de Calidad de Energía.....</i>	<i>39</i>
<i>Regulación ARCERNR 002/20.....</i>	<i>41</i>
Hipótesis.....	48
Variables de Investigación.....	48
<i>Variable Independiente</i>	<i>48</i>
<i>Variable Dependiente.....</i>	<i>48</i>
Metodología	49
Modalidad de la Investigación.....	49
Tipo de Investigación.....	50
<i>Investigación Bibliográfica.....</i>	<i>50</i>
<i>Investigación Exploratoria.....</i>	<i>50</i>

	10
<i>Investigación Descriptiva</i>	50
<i>Investigación de Campo</i>	51
Técnicas de Recolección de Datos	51
<i>Observación en el área de producción</i>	51
<i>Instrumentos</i>	51
<i>Técnica de Análisis de Datos</i>	51
<i>Técnica de comprobación de hipótesis</i>	51
Sistema Actual	52
<i>Descripción de la Industria</i>	52
<i>Delimitación de área de estudio de la industria</i>	52
<i>Transformador de distribución</i>	54
<i>Carga instalada al transformador de 45 KVA</i>	55
<i>Potencia Activa [kW]</i>	57
<i>Potencia Reactiva [kVAR]</i>	58
<i>Potencia Aparente [kVA]</i>	59
<i>Factor de potencia</i>	60
<i>Simulación del sistema eléctrico actual</i>	62
Resultados de la Investigación	67
Introducción	67
Análisis de Calidad de Energía	67
<i>Nivel de voltaje</i>	69

	11
<i>Corriente</i>	72
<i>Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker)</i>	73
<i>Armónicos</i>	77
<i>Desequilibrio de voltaje</i>	91
Diagnóstico	92
Propuesta	95
Tema de la propuesta	95
Datos informativos	95
Objetivos	95
<i>Objetivo General</i>	95
<i>Objetivos Específicos</i>	95
Diseño de la propuesta	96
Simulación de la propuesta	103
Conclusiones y Recomendaciones	109
Conclusiones	109
Recomendaciones	110
Bibliografía	112
Anexos	116

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación de los armónicos por su orden</i>	35
Tabla 2 <i>Características de la clasificación de los armónicos</i>	35
Tabla 3 <i>Rangos de voltaje admisible</i>	43
Tabla 4 <i>Límites máximos de armónicos de voltaje</i>	45
Tabla 5 <i>Nivel máximo de distorsión armónica de corriente impares</i>	47
Tabla 6 <i>Nivel máximo de distorsión armónica de corriente pares</i>	48
Tabla 7 <i>Transformador principal</i>	54
Tabla 8 <i>Autotransformador trifásico tipo seco - elevador</i>	54
Tabla 9 <i>Autotransformador trifásico tipo seco – elevador</i>	55
Tabla 10 <i>Autotransformador trifásico tipo seco – elevador</i>	55
Tabla 11 <i>Carga instalada del transformador de 45 kVA</i>	56
Tabla 12 <i>Descripción del tipo de conexión</i>	57
Tabla 13 <i>Valores de potencia activa por fase</i>	58
Tabla 14 <i>Valores de potencia reactiva por fase</i>	59
Tabla 15 <i>Valores de potencia aparente por fase</i>	60
Tabla 16 <i>Factor de potencia en cada fase</i>	61
Tabla 17 <i>Niveles de voltaje: Mínimo, Media, Máxima de cada una de las fases</i>	69
Tabla 18 <i>Niveles de voltaje: Mínimo, Media y Máxima Línea a Línea</i>	70
Tabla 19 <i>Niveles de voltaje: Mínimo, Media y Máxima del Neutro</i>	71
Tabla 20 <i>Niveles de corriente: Mínimo, Media, Máxima y Neutro</i>	72
Tabla 21 <i>Perturbación rápida de voltaje (Flicker)</i>	73
Tabla 22 <i>Porcentaje de cumplimiento (Flicker)</i>	76
Tabla 23 <i>Distorsión Armónica de voltaje por cada fase</i>	77
Tabla 24 <i>Resultado de la distorsión armónica de voltaje en la Fase A</i>	79

Tabla 25 <i>Resultado de la distorsión armónica de voltaje en la Fase B</i>	81
Tabla 26 <i>Resultado de la distorsión armónica de voltaje en la Fase C</i>	83
Tabla 27 <i>Factor de distorsión de demanda total</i>	85
Tabla 28 <i>Resumen de nivel máximo de armónicos pares e impares</i>	89
Tabla 29 <i>Resultados de distorsión armónica individual por cada fase</i>	90
Tabla 30 <i>Desequilibrio de voltaje: Mínimo, media y máximo</i>	91
Tabla 31 <i>Comparación de corriente entre analizador y software</i>	93
Tabla 32 <i>Balance de carga</i>	97
Tabla 33 <i>Niveles de voltaje en barras - Sistema actual y la propuesta</i>	104
Tabla 34 <i>Niveles de THDv en barras - Sistema actual y la propuesta</i>	105
Tabla 35 <i>Niveles de TDDi en barras - Sistema actual y la propuesta</i>	106

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Generación, transporte y distribución eléctrica</i>	25
Figura 2 <i>Perturbaciones propias de la red</i>	28
Figura 3 <i>Evento flicker provocado por un horno de arco</i>	30
Figura 4 <i>Efecto flicker en las personas</i>	30
Figura 5 <i>Hueco de tensión</i>	31
Figura 6 <i>Transitorios</i>	33
Figura 7 <i>Formación de una señal armónica</i>	34
Figura 8 <i>Comportamiento de la onda sinusoidal por el uso de cargas no lineales</i>	38
Figura 9 <i>Conexión del analizador a la red</i>	39
Figura 10 <i>Metodología para el análisis de calidad de energía</i>	50
Figura 11 <i>Ubicación geográfica de la empresa Etiquetex. S.A.</i>	52
Figura 12 <i>Área de estudio</i>	53
Figura 13 <i>Comportamiento de la curva de Potencia Activa [kW]</i>	58
Figura 14 <i>Comportamiento de la curva de Potencia Reactiva [kVAR]</i>	59
Figura 15 <i>Comportamiento de la curva de Potencia Aparente [kVA]</i>	60
Figura 16 <i>Curva del Factor de potencia</i>	61
Figura 17 <i>Diagrama unifilar de la empresa</i>	62
Figura 18 <i>Creación de la librería para armónicos</i>	63
Figura 19 <i>Nivel de voltaje en barras en p.u.</i>	64
Figura 20 <i>Distorsión armónica de voltaje – Red eléctrica actual</i>	65
Figura 21 <i>Distorsión armónica de corriente – Red eléctrica de actual</i>	66
Figura 22 <i>Equipo Analizador de Carga Trifásica Marca FLUKE Modelo 434</i>	67
Figura 23 <i>Instalación del equipo en el tablero principal de la empresa</i>	68
Figura 24 <i>Descarga de datos</i>	68

Figura 25 Nivel de voltaje por fase.....	70
Figura 26 Niveles de Voltaje Línea a Línea	71
Figura 27 Curva de corriente por fase.....	72
Figura 28 Magnitudes registradas del Flicker.....	74
Figura 29 Flicker Fase A.....	75
Figura 30 Flicker Fase B.....	75
Figura 31 Flicker Fase C.....	76
Figura 32 Orden de armónicos de voltaje por cada fase.....	78
Figura 33 Orden de armónicos de corriente por cada fase	86
Figura 34 Resultado de la Icc mediante el software Etap 12.6.....	87
Figura 35 Resultado de la corriente máxima de carga en la fase A	87
Figura 36 Resultado de la corriente máxima de carga en la fase B	88
Figura 37 Resultado de la corriente máxima de carga en la fase C	88
Figura 38 Curva de Desequilibrio de voltaje	92
Figura 39 Corrientes de fase registrado por el analizador.....	93
Figura 40 Factor de potencia en el tablero principal.....	97
Figura 41 Conductores para red de Bajo Voltaje	100
Figura 42 Características para el diseño del filtro activo	101
Figura 43 Valores del filtro activo.....	102
Figura 44 Flujo de potencia – Propuesta	103
Figura 45 Niveles de voltajes en barras entre el sistema actual y la propuesta.....	104
Figura 46 Niveles de THDv en barras entre el sistema actual y la propuesta.....	106
Figura 47 Niveles de TDDi en barras entre el sistema actual y la propuesta	107

Resumen

El presente trabajo de titulación trata acerca del Análisis de Calidad de Energía en Bajo Voltaje para evaluar la Calidad del Producto en base a la Regulación vigente ARCERNNR 002/20. Este tema de titulación surge debido a que la empresa ha experimentado un incremento en la productividad de manera paulatina, por el gran desarrollo tecnológico, por lo que la empresa se ha visto en la necesidad de incorporar nuevos equipos de alta tecnología a sus instalaciones, sin tener en cuenta un estudio previo de la situación actual de la red eléctrica y ver si era factible instalar dicha maquinaria, por esta razón, actualmente la industria presenta problemas en la calidad de suministro de energía, provocando paradas no programadas en los telares, máquinas de corte entre otros equipos que se encuentran en el área de producción. Para analizar este problema, se hace uso de un analizador de carga trifásica marca Fluke modelo 434, que permite registrar y guardar datos de los indicadores de calidad que establece la norma y conocer cuáles son las perturbaciones existentes en la red. Finalmente, conociendo las perturbaciones que existe en la red, se propone un plan de mejora en el rediseño de la red eléctrica, balanceo de cargas, reforzamiento en los conductores diseño de un filtro activo, con el propósito de mejorar la eficiencia general del sistema eléctrico.

Palabras clave:

- **REGULACIÓN ARCERNNR 002/20**
- **CALIDAD DE ENERGÍA**
- **ANALIZADOR DE CARGA TRIFÁSICA**
- **PERTURBACIONES ELÉCTRICAS**

Abstract

This degree work deals with the Analysis of Low Voltage Power Quality to evaluate the Product Quality based on the current Regulation ARCERNNR 002/20. This degree topic arises because the company has experienced a gradual increase in productivity, due to the great technological development, so the company has seen the need to incorporate new high-tech equipment to its facilities, without taking into account a previous study of the current situation of the power grid and see if it was feasible to install such machinery, for this reason, currently the industry has problems in the quality of power supply, causing unscheduled stops in looms, cutting machines among other equipment found in the production area. To analyze this problem, a Fluke model 434 three-phase load analyzer is used to record and save data of the quality indicators established by the standard and to know which are the existing disturbances in the network. Finally, knowing the disturbances that exist in the network, an improvement plan is proposed in the redesign of the electrical network, load balancing, reinforcement of the conductors, design of an active filter, with the purpose of improving the general efficiency of the electrical system.

Key Words:

- **REGULATION ARCERNNR 002/20**
- **POWER QUALITY**
- **THREE-PHASE LOAD ANALYZER**
- **ELECTRICAL DISTURBANCES**

Capítulo I

1. Problema de Investigación

1.1. Planteamiento del problema

La calidad de energía es un término que se emplea para relacionar los parámetros eléctricos de voltaje, corriente, factor de potencia, perturbaciones de voltaje, armónicos de voltaje y corriente entre otros para comparar con los límites permitidos según los estándares de calidad de energía eléctrica por la normativa que se encuentra vigente con la finalidad de garantizar un suministro de energía eléctrica de manera continua, sin interrupciones (Céspedes & Saad, 2021). Un mal servicio en la calidad de energía en el sector industrial puede generar efectos adversos en las diferentes áreas de la empresa, por ejemplo: en la facturación, debido a que las lecturas que realiza el medidor de energía son erróneas por la presencia de armónicos; de igual manera en el área de producción se puede presentar pérdida de sincronismo en los equipos al variar la frecuencia fundamental, además de sobrecalentamiento y vibraciones reduciendo la vida útil de los equipos. Por otra parte, otro efecto de la mala calidad de energía es el disparo de protecciones en condiciones normales de operación, lo que causa pérdidas técnicas y económicas considerables en el sector industrial (Muñoz, 2021).

Actualmente, en la empresa Etiquetex S.A. ubicada en el sector de Carcelén Industrial al norte de Quito, se identificaron problemas generales en el suministro de energía eléctrica, lo que ha conducido a paradas forzadas e inesperadas de los equipos como: telares, máquinas de corte entre, urdidora, máquina de corte laser, aprestadora entre otros equipos los cuales son empleados en el área textil, esto genera pérdidas significantes tanto técnicas como económicas, puesto que reduce la vida útil de los aparatos lo que origina que se realicen mantenimientos lo que provoca tiempos de

inactividad, esto a su vez disminuye la productividad y un considerable aumento de los costes energéticos (Zavala Valle, 2013)

1.2. Antecedentes

En los últimos años debido a los continuos avances tecnológicos, se ha despertado un gran interés en la supervisión de la calidad eléctrica, debido al incremento del número de cargas sensibles, es decir, estos equipos resultan ser una causa de la degradación en la calidad de la energía eléctrica, de tal forma que gestionar un control de la calidad de energía favorece para obtener un excelente rendimiento en esta clase de equipos (Zavala Valle, 2013). Esta situación se debe a que una falla en su funcionamiento desembocaría directamente en pérdidas económicas asociadas a la reparación y/o reposición del equipo. Es por este motivo que el concepto de “Calidad de Energía” ha adquirido un peso significativo en las industrias. Es así, que instituciones especializadas en el tema, como la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), IEC (Internacional Electrotechnical Commission), CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique), NEMA (The National Electrical Manufacturers Association), entre otros, han desarrollado estándares, métodos de medición y construcción de equipos que permitan obtener indicadores orientados a la calidad de energía (Ramos & Riveros, 2018).

De esta manera, las empresas para llevar a cabo sus actividades diarias con normalidad y cumplir con la demanda de sus clientes, han empezado acoger técnicas que sean capaces de monitorear y regular los sistemas eléctricos que manejan. Dichas técnicas son basadas en las normativas emitidas por las instituciones anteriormente mencionadas, en Ecuador la normativa vigente para el control de calidad de energía es la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR).

Debido al creciente interés del sector industrial por mantener una buena gestión de su calidad, existen varios estudios en la literatura especializada que recurren a diferentes métodos establecidos en normas que se enfocan en soluciones capaces de evitar eventos que afecten su normal funcionamiento.

En Mieles & Molina (2019), se realiza el análisis de calidad de energía eléctrica de la Empresa Provefrut en el cantón Latacunga, se emplea la norma CONELEC 005/18. Con el análisis respectivo de las mediciones y la utilización del software de simulación técnico EASY POWER, los resultados obtenidos demostraron un bajo factor de potencia y la presencia de armónicos de voltaje y de corriente en la red eléctrica de la empresa. En base a lo anterior, se propuso como tentativa la solución de la instalación de un filtro pasivo con el cual se redujo los niveles de contaminación armónica producidos por el uso de cargas no lineales y además de elevar el factor de potencia.

En Jácome Segovia & Vargas Cerda (2019), se realiza el análisis de la calidad de energía eléctrica de la Florícola AGRORAB CIA. TDA. del canto Pujilí, aplicando la regulación del ARCONEL 053/18. En base al respectivo análisis de los datos obtenidos (caídas de voltaje, pérdidas de potencia, factor de potencia y cargabilidad del sistema eléctrico de la empresa), se propone como solución para mejorar la calidad de energía implementar un filtro pasivo para reducir los armónicos en el sistema, además del cambio de conductores para reducir las caídas de tensión y las pérdidas de potencia

1.3. Justificación e importancia

La Empresa Etiquetex S.A. compañía pionera ecuatoriana; dedicada a la fabricación de etiquetas con 40 años de experiencia, desde el año 1981 hasta la actualidad, ha experimentado un crecimiento paulatino en su producción con la adquisición de nuevos equipos en distintas áreas como tejeduría, corte, acabados, diseño, entre otros, con la finalidad de abastecer la creciente demanda de sus clientes.

Sin embargo, se han identificado problemas en la calidad de su servicio eléctrico, lo que conduce a un mal funcionamiento de equipos sensibles provocando paradas no programadas en los equipos y activación inadecuada en protecciones eléctricas, entre otros. Por lo que, es necesario realizar un análisis de la calidad de energía en la empresa y través de las diferentes métricas establecidas en las normativas para evaluar los parámetros eléctricos como: los niveles de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje (flicker), desequilibrio de voltaje y distorsión armónica de voltaje y corriente, se permita desarrollar planes para la identificación, prevención y solución de los efectos que provoca una mala calidad de servicio eléctrico.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar un análisis de calidad de energía eléctrica en la empresa textil Etiquetex S.A. ubicada en el cantón Quito, mediante la regulación ARCERNNR 002/20.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Establecer los indicadores, índices y límites de calidad de servicio de distribución y definir el proceso de medición, registro y evaluación a ser cumplidos según la regulación ARCERNNR 002/20.
- Realizar el levantamiento de información actual de las instalaciones eléctricas en BV de la empresa textil
- Emplear un analizador de calidad de energía para evaluar la situación actual del sistema eléctrico de la empresa
- Analizar la condición de operación actual de la red eléctrica mediante una simulación, para comparar con los resultados que se obtiene del analizador de energía

- Proponer un plan de mejora para cumplir con los índices e indicadores de calidad que establece la regulación

Capítulo II

2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes Investigativos

En la presente tesis de Del Cid (2018), tiene como objetivo analizar las perturbaciones que son causadas por una mala calidad de energía en una industria textil. Para lo cual, se utiliza el equipo clase A, Dranetz 4400, el cual permite realizar un estudio de calidad de energía altamente confiable y con alto detalle. La metodología aplicada se la realiza en base a las normas técnicas del servicio de distribución, se muestran los aspectos más importantes de las normas nacionales que se consideren relacionadas directamente con el estudio de la instalación eléctrica, para ejecutar un estudio de calidad de energía y determinar si los parámetros medidos se encuentran dentro de las tolerancias permisibles. Además, se indagará en los beneficios de la buena práctica de calidad de potencia eléctrica, así como en los problemas que se puedan presentar por su ausencia.

En el estudio realizado por Holguín & Gomezcoello (2010), se menciona que existe un incremento de productividad con logros en las industrias debido a la automatización. Esta situación se debe al gran avance tecnológico en los últimos años, en especial en el área de la electrónica de potencia, lo que ha permitido diseñar equipos de alta capacidad, alto rendimiento y bajo costo. A su vez, dichos equipos son considerados como cargas no lineales, es decir que, el valor de su impedancia cambia de acuerdo con las variaciones en el suministro eléctrico por lo que son equipos altamente sensibles, lo que conlleva que la empresa Distribuidora del Servicio Eléctrico se vea obligada a proveer una alimentación confiable, ininterrumpida y totalmente libre de perturbaciones en el servicio eléctrico. La metodología aplicada se la realiza en base a varias Normas Internacionales y en la Regulación del CONELEC 004/01 que se encuentra vigente desde marzo del 2001, para que, en base a las diversas mediciones

tomadas, se plantee las conclusiones necesarias para mantener un buen servicio. Las conclusiones obtenidas en el presente trabajo permitirán que se evite el deterioro de las señales de tensión y conlleve a interrupciones del suministro eléctrico que culminen en la reducción o parada de procesos que ocasionan daños.

En el trabajo de titulación de Gómez (2019), tiene como objetivo realizar un análisis de calidad del sistema eléctrico de la Facultad de Ingeniería, con la finalidad de recabar información de los niveles de voltaje, corriente, frecuencia, desequilibrio de voltaje, armónicos, flicker, factor de potencia, potencia activa, reactiva, aparente, energía y con ello proceder a diagnosticar el estado actual de la energía eléctrica. Con el pasar de los años la demanda eléctrica en la Facultad se ha incrementado de acuerdo con la implementación de nuevos equipos en beneficio de los estudiantes, dando como resultado instalaciones eléctricas nuevas. Con dicha implementación y al no existir un plano actualizado de los circuitos de iluminación, fuerza y la ubicación de los tableros de distribución, la metodología aplicada es el realizar un levantamiento de las cargas fijas que se encuentran instaladas, con la finalidad de presentar un plan de mejora que involucra cambio y reubicación de tableros.

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. *Energía eléctrica*

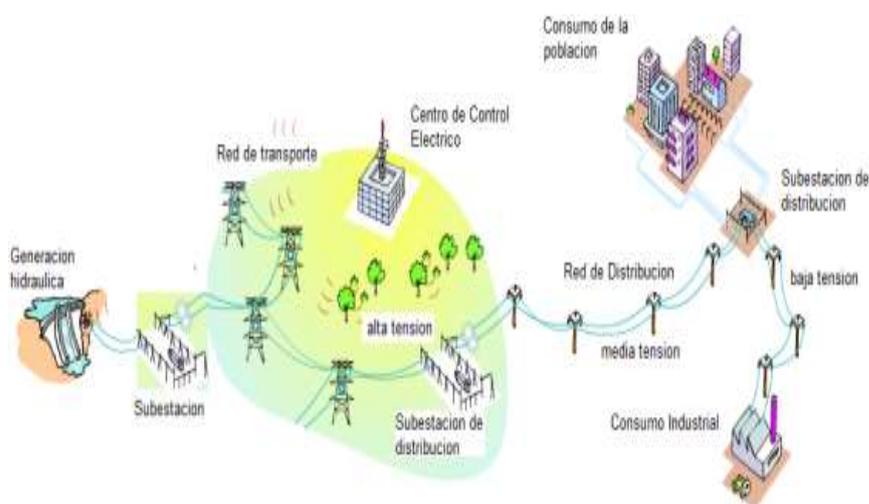
La energía eléctrica es la forma de energía que surge de una diferencia de potencial entre dos puntos, capaz de establecer una corriente eléctrica entre los dos cuando se unen por medio de un conductor eléctrico, además esta presenta una facilidad para generarse, lo que permite transportarse y convertirse en nuevas formas de energía, por ejemplo: energía luminosa, energía mecánica y energía térmica. (Cajas, 2008)

Un sistema de energía eléctrica está compuesto por los siguientes componentes:

- Generación
- Transporte
- Distribución

Figura 1

Generación, transporte y distribución eléctrica



Nota. En la siguiente figura, se representa los componentes del sistema de suministro eléctrico. Tomada de Cajas (2008).

2.2.2. Calidad de energía eléctrica

Un estudio de calidad de energía, permite verificar si el suministro de energía eléctrica cumple con los estándares de calidad, Cajas (2008) menciona que:

“Los sistemas proveedores de energía eléctrica requieren garantizar los niveles de calidad con el objeto de avalar la confiabilidad del producto, mismo que debe mantenerse dentro de los parámetros establecidos por el órgano regulador, con la finalidad de ofrecer un nivel satisfactorio de servicio eléctrico para permitir el

buen funcionamiento y desempeño de los equipos conectados a lo largo de la Red de Distribución.”

A continuación, se indica brevemente los tipos de perturbaciones más comunes que se presentan en el sector industrial, a causa del incremento del número de cargas sensibles soportados por los sistemas de distribución

- **La caída de tensión:** La caída de tensión de un circuito indica cuándo dicho circuito se encuentra saturado, es decir, cuando a la línea eléctrica se le exige una demanda mayor para la cual está diseñada, esto no permite que los equipos funcionen correctamente (Fluke, 2021).
- **Sobretensiones:** “Se originan por diferentes causas las cuales ocurren durante la operación normal del sistema por lo cual se requiere un medio de protección seguro para evitar daños a casa de una falla”, (López Guerrero, 1977, p. 7) y pueden ser del tipo de baja frecuencia, temporales y transitorios (alta frecuencia).
- **Fluctuaciones de voltaje:** “Impresión de inestabilidad de la sensación visual debido a un estímulo luminoso en el cual la luminosidad o la distribución espectral fluctúan en el tiempo” (Electroindustria, 2012, párrafo décimooctavo). Este efecto es observable en luces incandescentes, la molestia notada por las personas cuando está sometido a un flicker es perjudica la visión, deteriora la calidad de su trabajo y puede ocasionar accidentes debido a la fatiga o poca concentración que este efecto ocasiona (Bastidas, 2021).
- **Corrientes armónicas:** Es uno de los factores de mayor influencia en la calidad de red en las instalaciones del sector industrial. Los efectos más comunes son disparos intempestivos de Interruptores, disminución del factor de potencia, degradaciones del aislamiento de los transformadores, pérdida

de capacidad de suministro de potencia en los mismos, etc. Además, por la presencia de armónicos en la red eléctrica, puede generar efectos en las áreas de facturación debido a las lecturas erróneas en los medidores de energía. (Yupanqui, 2021)

2.2.3. Origen de las perturbaciones

El origen de las perturbaciones según su orden de procedencia se clasifica en:

- Perturbaciones propias de la red
- Perturbaciones externas a la red

2.2.3.1. Perturbaciones propias de la red

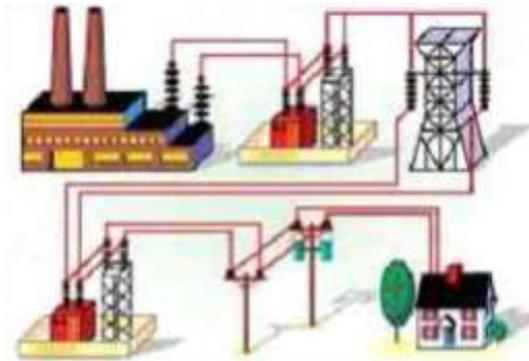
Las perturbaciones propias de la red:

“Son ocasionadas por el funcionamiento de la red. Durante la transmisión o distribución de la electricidad, se producen muchas perturbaciones debido a la propia manipulación de la misma. Entre los orígenes podemos encontrar, desperfectos en materiales utilizados en la red, o en la misma generación de la corriente eléctrica; desperfectos en las herramientas de medición y manipulación de la energía; movimientos involuntarios del cableado de la red, ya sea por vientos o choque de un objeto extraño al sistema, ocasionando movimientos en los terminales en los extremos de conexión; recierres en centrales de generación o estaciones transformadoras; cortes en el cableado; descargas atmosféricas, etc.” (Berasategui, Bonino, & González, 2019, pág. 163).

Los problemas que vincula a un mal suministro de energía eléctrica, se originan en los sistemas de generación y distribución eléctrica alrededor del 20%. Entre las razones principales se puede citar, por orden de importancia: “rayos, fallos en los propios sistemas, otros fenómenos atmosféricos, sistemas de transferencia” (Poyato, 2018).

Figura 2

Perturbaciones propias de la red



Nota. En la siguiente figura, se representa el sistema de generación y distribución del sistema eléctrico. Tomado de Poyato (2018).

2.2.3.2. Perturbaciones externas de la red

Para Berasategui, Bonino, & González (2019), como para muchos los efectos que producen las perturbaciones externas a la red se manifiestan por: “Los huecos de tensión, impulsos de tensión, distorsión armónica (THD), desequilibrios de tensión, variaciones de frecuencia, variaciones lentas de tensión, fluctuaciones de tensión (Flicker)” (pág. 164).

Los problemas que vincula a las perturbaciones externas de la red eléctrica, se originan en un 80% en la misma instalación del usuario por cargas inductivas y cargas no lineales, es decir, por motores, reactancias y reguladores de tensión, fuentes de alimentación conmutadas, hornos de arco eléctrico, instrumentos de soldadura, variadores de velocidad, respectivamente. (Berasategui, Bonino, & González, 2019)

2.2.4. Perturbaciones comunes en la red eléctrica

2.2.4.1. Fluctuaciones de voltaje

Esta perturbación es ocasionada por cargas que muestran un cambio continuo y rápido de corriente para su funcionamiento, lo que provoca aumento o disminución momentáneo de la magnitud de voltaje, los equipos que afectan al sistema de

distribución son las soldadoras, arcos de fundición etc. Entre las fluctuaciones más comunes se contemplan los siguientes:

- Variaciones de voltaje de corta duración | Duración de $\frac{1}{2}$ ciclo por minuto
- Variaciones de voltaje de larga duración | Duración mayor a un minuto

La variación de voltaje de larga duración, es causada por la mala sintonización del banco de capacitores que son empleados para compensar la potencia reactiva entre otros o a su vez al deterioro de los devanados del transformador.

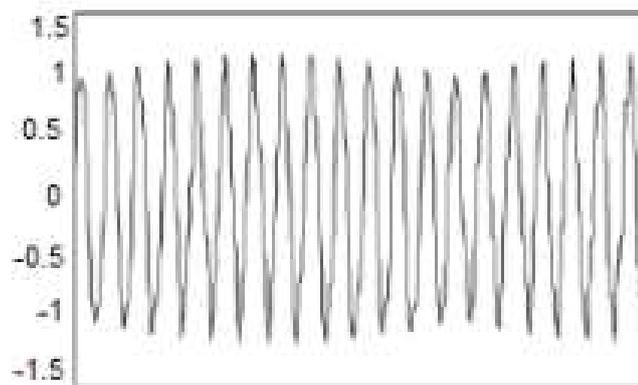
2.2.4.2. Perturbación rápida de voltaje” Flicker”

La perturbación rápida de voltaje o también conocida como parpadeos, son ocasionados por equipos que se encuentran instalados a lo largo de las instalaciones eléctricas. A continuación, se menciona algunos ejemplos:

- Hornos de arco
- Equipos de soldadura
- Motor de gran potencia
- Generador eólico
- Bomba
- Compresor
- Cargas monofásicas: impresora láser, microondas, lámparas fluorescentes y cualquier electrodoméstico con regulación automática

Figura 3

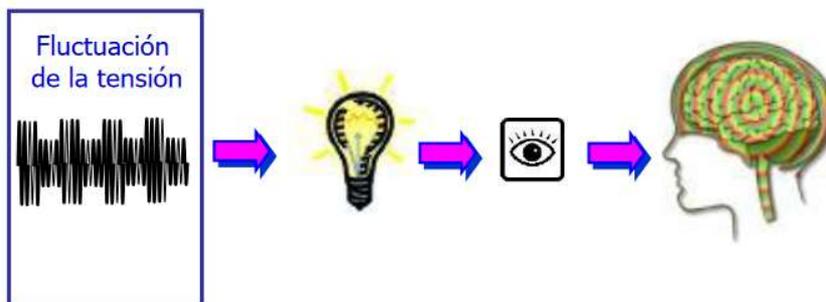
Evento flicker provocado por un horno de arco



Nota. Tomado de Cajas (2008)

Figura 4

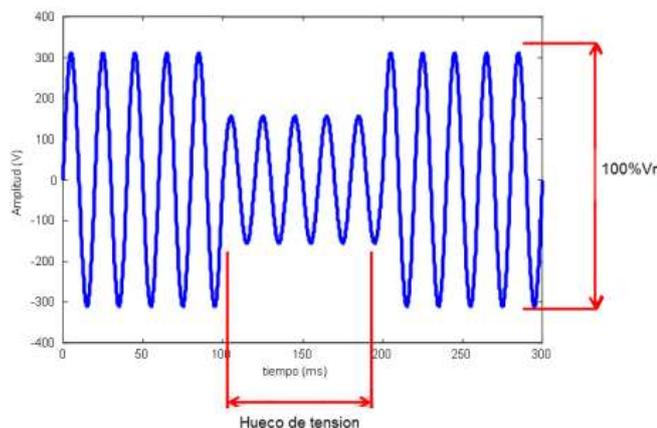
Efecto flicker en las personas



Nota. La sensación visual que produce la perturbación puede causar problemas de desconcentración y fatiga en la vista. Tomada de Poyato (2018).

2.2.4.3. Huecos de tensión

Es la reducción repentina y brusca de voltaje en una fase, la recuperación de esta perturbación puede darse en milisegundos.

Figura 5*Hueco de tensión*

Nota. Tomado de Cajas (2008)

¿Cuáles son los motivos para que ocurra este fenómeno?

En las medianas y grandes industrias, esta perturbación es muy frecuente debido al arranque de motores o energización de cargas pesadas (inductivas) los equipos gran potencia, por otra parte, este efecto puede ser ocasionado por conexiones flojas o desajustadas, provocando fluctuaciones en la iluminación, reinicio de equipos electrónicos programables o paradas de los variadores de velocidad (Elvatron S.A, 2020)

Cajas (2008) manifiesta que: “La severidad de los huecos de tensión dependerá de: la impedancia y localización de la falla, conexión del transformador, puesta a tierra del sistema, conexión de la carga, entre otros factores” (pág. 71).

Sags de voltaje

Los sags son reducciones bruscas de voltaje por debajo del 90% del valor nominal, de corta duración entre 0.5 ciclos y 1 minuto, esta perturbación pueden causar interrupciones en equipos sensibles tales como: variadores de velocidad, relés y robots. Los sags son ocasionados por una operación del interruptor, descargas atmosféricas, cortocircuito, el arranque de un motor o la conmutación de condensadores. Los sags de

voltaje es uno de los problemas más comunes que más se presentan en una red eléctrica.

Subidas de tensión (swells)

Los swells es el incremento brusco de voltaje por encima del 10% del valor nominal, tiene una duración entre 0.5 ciclos y 1 minuto, esta perturbación pueden dañar a los motores, provoca el disparo de protecciones y reduce la vida útil de las luminarias. Los swells son ocasionados por una desconexión grande de carga o por conexiones flojas o desajustadas. Las subidas de tensión, es una perturbación que ocurre con menos frecuencia a comparación que los sag y microcortes.

Microcortes de voltaje

Los microcortes son caídas de voltaje instantáneas, que se producen en el rango de μs o pocos ms del suministro eléctrico. Los microcortes de voltaje son ocasionados por las centrales de generación, debido a maniobras de transformación, es decir, inclusión de cargas demasiados grandes o corte de suministro en las líneas. De todos los parámetros que afectan en la calidad de la onda sinusoidal de suministro de energía, sin duda los sags y microcortes, son los responsables de la mayor parte de estos problemas.

2.2.4.4. Transitorios

Estas perturbaciones son generadas por impulsos de alta frecuencia por encima de la forma de onda de voltaje sinusoidal, la causa más común son las descargas atmosféricas y tiene una duración menor a un ciclo.

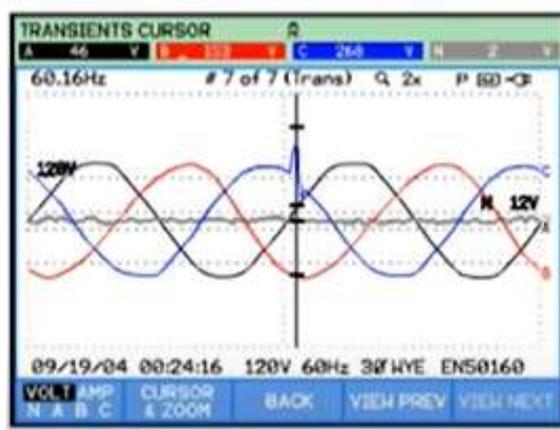
Elvatron S.A (2020) menciona que los efectos que provocan los transitorios son:

- Disparos “inexplicables de variadores de frecuencia”
- Errores en la transmisión de datos
- Bloqueo de ordenadores

- Pueden destruir componentes electrónicos de los equipos
- Daño en el aislamiento de los conductores

Figura 6

Transitorios



Nota. Gráfica de transitorios utilizando un analizador de carga Fluke. Tomada de (Elvatron S.A, 2020, min 60:01)

2.2.4.5. Armónicos

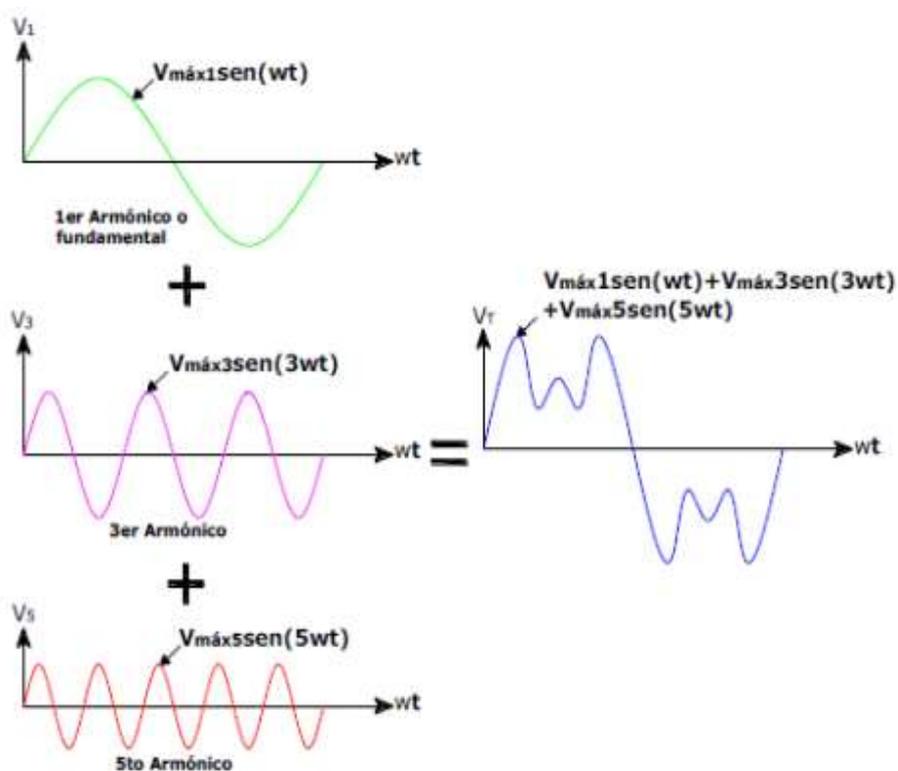
En Cajas (2008) se define a los armónicos como las: “Señales eléctricas con frecuencias múltiplos de la fundamental, son distorsiones de las ondas senoidales de tensión o corriente de los sistemas eléctricos ocasionados por el uso de cargas no lineales a lo largo de la red de Distribución” (pág. 65).

“Los armónicos de corriente de diferentes fuentes producen armónicos de tensión a través de la impedancia de la red” (Terán, 2012).

Una señal armónica es la deformación de la forma de onda senoidal de voltaje o de corriente superpuestas de senoidales de frecuencia múltiple de la fundamental.

Figura 7

Formación de una señal armónica



Nota. En la imagen se puede observar la señal del 1er, 3er y 5to armónico y su onda distorsionada fundamental más armónicos. Tomada de Terán (2012).

La presencia de armónicos en la red eléctrica causa problemas como: pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mala coordinación de protecciones, deterior de aislamiento dieléctrico, reduce considerablemente la vida útil de los equipos.

Clasificación de los armónicos

Los armónicos se clasifican por su orden, frecuencia y secuencia

Tabla 1*Clasificación de los armónicos por su orden*

Orden armónico [h]	Frecuencia [Hz]	Secuencia [+ - 0]
1	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
7	420	+
8	480	-
9	540	0
10	600	+
11	660	-
12	720	0
n	60 x n

Nota. Los armónicos múltiplos de 3 se deben tener muy en cuenta para el análisis, debido por su alta presencia en las instalaciones industriales como por ejemplo los armónicos de orden 3 y 9. Tomada de Terán (2012).

Tabla 2*Características de la clasificación de los armónicos*

Armónicos	
Impares	Pares
Se encuentran en las instalaciones eléctricas y edificios comerciales	Solo existen cuando se produce una asimetría en la señal debido a la componente continua

Armónicos

Secuencia Positiva [+]

Girar el motor en el mismo sentido del campo magnético generado

Genera una sobre corriente que provoca el calentamiento del motor

Deterioro en el aislamiento de los devanados, reduciendo la vida útil del motor

Provoca sobrecalentamientos en el transformador, conductores

Secuencia Negativa [-]

Girar el motor en sentido contrario del campo magnético generado

Realiza un efecto de frenado, provocando sobrecalentamientos "5to armónico"

Reducción de la vida útil de ejes y engranajes

Secuencia cero [0]

No tiene sentido de rotación

Causa un sobrecalentamiento

La secuencia de armónicos cero (múltiplos de la 3era) se conoce como "Triplens"

Producen una intensidad y se suman de un sistema trifásico de 4 hilos "3er armónico"

Nota. Algunas características de la clasificación de los armónicos, tener en cuenta los múltiplos de 3 para el análisis de calidad de energía. Tomada de Terán (2012).

2.2.5. Tipos de cargas

2.2.5.1. Carga lineal

Una carga lineal o también conocidas como cargas convencionales, es decir que en sus componentes internos se encuentran: resistencias, inductancias y condensadores de valores fijos (Holguín & Gomezcoello, 2010), los parámetros de voltaje y corriente en C.C se comportan de manera lineal y proporcional, mientras que en C.A, se debe tener en cuenta que el voltaje y la corriente se encuentran desfasadas con su respectivo ángulo, si en el circuito predomina la:

- R “Resistencia” → El voltaje y la corriente se encuentran en fase.
- L “Inductancia” → El voltaje se adelanta a la corriente en 90° .
- C “Capacitancia” → La corriente se adelanta al voltaje en 90° .

2.2.5.2. Carga no lineal

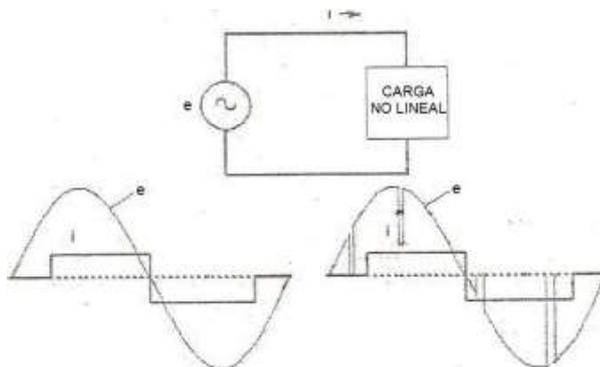
Las cargas no lineales se definen como aquellas que provocan corrientes no senoidales, es decir, que tienen otras señales eléctricas de corriente con frecuencias múltiplos de la fundamental, esto se conoce armónicos, lo cuales degradan la calidad de la energía eléctrica, afectando la calidad del suministro. (Cajas, 2008)

En la industria, los principales equipos que producen armónicos u otras perturbaciones se mencionan las siguiente

- Rectificadores AC/DC
- Fuentes Switching
- Equipos de arco electrónico
- Lámparas fluorescentes
- Variadores de frecuencia

Figura 8

Comportamiento de la onda sinusoidal por el uso de cargas no lineales



Nota. Formas de onda ocasionadas por el uso de cargas no lineales en la red eléctrica.

Tomada de Cajas (2008).

2.2.6. Analizador de Carga Fluke 434

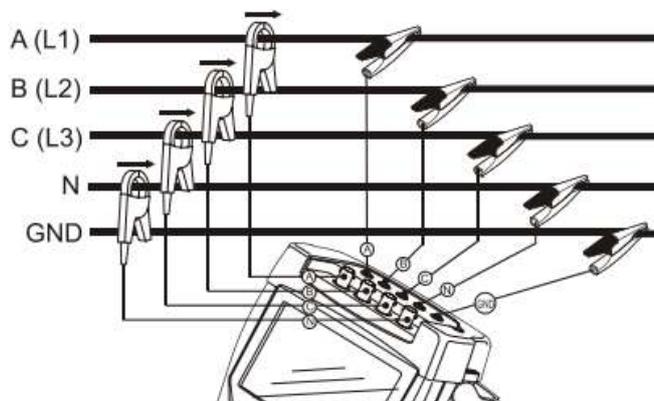
El equipo FLUKE 434, es un analizador de redes de tipo trifásico, que permite medir los parámetros de un sistema eléctrico como; voltaje, corriente, potencia, consumo (energía), desequilibrio, flickers, armónicos. Además, captura eventos como fluctuaciones, transitorios, interrupciones y cambios rápidos de tensión (Fluke, 2021)

2.2.6.1. Conexión del equipo a la red

Para la conexión y desconexión del equipo a la red, se lo hace con el equipo apagado por seguridad. Además, se sugiere conectar de la siguiente manera: para las pinzas de cocodrilo primero la conexión a tierra (GND) enseguida el neutro, Fase A, Fase B y Fase C y para la conexión de las pinzas amperimétricas primero la Fase A, seguido por la Fase B, Fase C y por último el neutro. En la Fig. 9, se indica el diagrama de conexión a una red trifásica de cuatro hilos, más la conexión a tierra; además, en la conexión las pinzas amperimétricas se debe considerar el sentido de la flecha de cada pinza, la flecha debe ir en dirección hacia la carga. (Fluke, 2021)

Figura 9

Conexión del analizador a la red



Nota. Se debe conectar de manera correcta, para evitar daños en el equipo. Tomada de Fluke (2021)

2.3. Fundamentación Conceptual

- ARCERNNR: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables
- Pst: Índice de severidad por flicker de corta duración
- THD: Distorsión Armónica de Voltaje
- TDD: Distorsión de Demanda Total
- PCC: Punto común de acoplamiento
- NEC: Norma Ecuatoriana de Construcciones | Instalaciones Eléctricas
- EEQ S.A.: Empresa Eléctrica Quito Sociedad Anónima
- BV: Bajo Voltaje

2.4. Fundamentación Legal

2.4.1. Normas para el control de Calidad de Energía

A continuación, se detalla las características más relevantes de algunas normas que son empleadas para la medición de calidad de energía.

La Norma IEEE Std 519 (2014) "Requisitos y métodos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica", menciona lo siguiente:

- Define los servicios y responsabilidades de los Clientes.
- Control de armónicos en puntos de conexión.
- Distorsión de voltaje provocado por cargas no lineales.
- Corrección del factor de potencia ante cargas no lineales.
- Diseño y simulación de filtro de armónicas (proporcionando trayectorias de baja impedancia a las corrientes armónicas y que estas fluyan al sistema).

La Norma IEC 61000-4-7+AMD1 (2008) "Guía general de medidas e instrumentación de armónicos e interarmónicos, para sistemas de alimentación y equipos conectados a los mismos", menciona que:

- Esta norma se aplica a la instrumentación para medir componentes espectrales en el rango de frecuencia de hasta 9 kHz.
- Por consideraciones prácticas, este estándar distingue entre armónicos, interarmónicos y otros componentes por encima del rango de frecuencia armónica, hasta 9kHz.
- Define la instrumentación de medición destinada a probar elementos individuales del equipo de acuerdo con los límites de emisión dados en ciertas normas (por ejemplo, límites de corriente armónica como se indica en IEC 61000-3-2), así como para la medición de corrientes y tensiones armónicas en condiciones reales. sistemas de suministro eléctrico

La Norma IEC 61000-4-30+AMD1 (2021) "Método de medición de la calidad de energía", menciona que:

- Define los métodos para la medida y la interpretación de los resultados de los parámetros de la calidad en sistemas A.C. de 50 y 60 Hz.
- Los métodos de la medida se describen para cada tipo de parámetro para obtener resultados confiables, repetibles y comparables
- Los parámetros de calidad de energía considerados en esta norma son frecuencia de energía, magnitud de la tensión de alimentación, parpadeo, caídas y subidas de tensión de alimentación, interrupciones de tensión, tensiones transitorias, desequilibrio de tensión de alimentación, armónicos e interarmónicos de tensión, señalización de red en la tensión de alimentación, tensión rápida cambios y mediciones actuales.
- El método de medición de corriente, antes informativo, ahora es normativo con algunos cambios.

2.4.2. Regulación ARCERNNR 002/20

Según la Regulación ARCERNNR (2020), que trata acerca de la calidad del servicio eléctrico de distribución y comercialización de energía eléctrica la cual se encuentra vigente, evalúa la calidad de la prestación del servicio de energía considerando los siguientes índices e indicadores:

“Calidad del producto

- a) Nivel de voltaje
- b) Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker)
- c) Distorsión armónica de voltaje
- d) Desequilibrio de voltaje

Calidad del servicio técnico

- a) Frecuencia de interrupciones a nivel global y por consumidor
- b) Duración de interrupciones a nivel global y por consumidor

Calidad del servicio comercial

- a) Porcentaje de atención y conexión a nuevos suministros
- b) Porcentaje de errores en la facturación
- c) Tiempo promedio de resolución de reclamos
- d) Porcentaje de resolución de reclamos
- e) Porcentaje de restablecimiento de servicio
- f) Porcentaje de respuestas a consultas
- g) Satisfacción de consumidores" (pág. 7).

El presente trabajo de titulación está enfocado en la evaluación de la calidad de producto, se evalúa considerando los siguientes indicadores: nivel de voltaje, perturbaciones ráidas de voltaje, distorsión armónica de voltaje y desequilibrio de voltaje, además de la distorsión armónica de corriente, el cual es un parámetro de calidad que se debe hacer responsable el consumidor.

2.4.2.1. Nivel de voltaje

Índice

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 [\%] \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

ΔV_k = Representa la variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto k

V_k = Representa el voltaje de suministro en ese punto, determinado como el promedio de las medidas registradas al menos cada 3 segundos, en un intervalo de 10 minutos.

V_N = Voltaje nominal en el punto k.

Límites

Los rangos de voltajes admitidos se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 3

Rangos de voltaje admisible

Nivel de voltaje	Rango admisible (ΔV_k)
Alto Voltaje Grupo 1 y Grupo 2	$\pm 5.0\%$
Medio Voltaje	$\pm 6.0\%$
Bajo Voltaje	$\pm 8.0\%$

Nota. Se indica las variaciones de voltaje admisibles con respecto al valor de voltaje nominal. Tomada de ARCERNNR (2020).

2.4.2.2. Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker)

Índice

Las perturbaciones rápidas de voltaje se evalúan mediante el índice de severidad por flicker de corta duración (P_{st}), conforme a la norma IEC .61000-4-15, el cual mide la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo, con intervalos de medición de 10 minutos y se calcula mediante siguiente ecuación.

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

P_{st} = Índice de severidad de flicker de corta duración

$P_{0,1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$ = Niveles de efecto flicker que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10% y 50%, respectivamente, para el tiempo total del intervalo de medición.

Límite

El valor límite para el índice de severidad del flicker no debe superar la unidad

2.4.2.3. Distorsión armónica de voltaje

Índice

Se evalúa la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, conforme a la Ec. 3 y Ec. 5, respectivamente.

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad \text{Ec.3}$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} \times 100[\%] \quad \text{Ec.4}$$

$$THD_k = \left[\frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] \times 100[\%] \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

$V_{h,k}$ = Representa el armónico de voltaje h en el intervalo k de 10

minutos.

$V_{h,i}$ = Es el valor eficaz (rms) de la armónica de voltaje h (para h=2, 3, ...,50), medido cada 3 segundos (i=1, 2, ..., 200).

$DV_{h,k}$ = Es el factor de distorsión individual de voltaje de la armónica h, en el intervalo k de 10 minutos

THD_k = Factor de distorsión armónica total de voltaje

$V_{h,1}$ = Es el valor eficaz (rms) de la componente fundamental de voltaje en el punto de medición.

Límites

Los límites máximos del factor de distorsión armónica individual y del factor de distorsión armónica total de voltaje para los diferentes niveles de voltaje, se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 4

Límites máximos de armónicos de voltaje

Nivel de voltaje	$DV_{h,k}$ [%]	$THD_{h,k}$ [%]
Medio Voltaje	3	5
Bajo Voltaje	5	8
Alto Voltaje (G1)	1.5	2.5
Alto Voltaje (G2)	1	1.5

Nota. Para el caso de estudio se realizará el análisis en bases a los valores de la red Bajo Voltaje. Tomada de ARCERNNR (2020).

2.4.2.4. Desequilibrio de voltaje

Índice

El desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución se determina mediante la Ec. 6

$$\text{Desequilibrio de voltaje} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| \times 100 [\%] \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

V^- y V^+ son las componentes de secuencia negativa y positiva de voltaje, respectivamente, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

Límite

El valor límite para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición será de 2% para todos los niveles de voltaje.

Para cada uno de los parámetros antes mencionados, la Regulación ARCERNNR (2020) manifiesta que:

“La empresa distribuidora no cumple con el (parámetro de estudio) en el punto de medición, cuando el 5% o más de los registros de las variaciones del (parámetro de estudio), en cada una de las fases, durante el periodo de medición de al menos 7 días continuos, se encuentran fuera del margen permitido” (pág. 11).

2.4.2.5. Calidad Responsabilidad del Consumidor

Índice

Se evalúa la distorsión armónica individual de corriente y la distorsión de demanda total mediante la Ec. 8 y Ec. 9, respectivamente.

$$I_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (I_{h,i})^2} \quad \text{Ec.7}$$

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_{h,1}} \times 100[\%] \quad \text{Ec.8}$$

$$TDD_k = \left[\frac{1}{I_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,k})^2} \right] \times 100[\%] \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

$I_{h,k}$ = Representa el armónico de corriente h en el intervalo k de 10 minutos.

$i_{h,i}$ = Es el valor eficaz (rms) de la armónica de corriente h (para h=2, 3, ...,50), medido cada 3 segundos (i=1, 2, ..., 200).

$DI_{h,k}$ = Es el factor de distorsión individual de corriente de la armónica h, en el intervalo k de 10 minutos

TDD_k = Factor de distorsión de demanda total (armónico de corriente)

$I_{h,1}$ = Es el valor eficaz (rms) de la componente fundamental de corriente (60 Hz)

Límites

Los límites de distorsión armónica individual de corriente y distorsión de demanda total se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 5

Nivel máximo de distorsión armónica de corriente impares

Nivel máximo de armónicos impares [% de la corriente máxima de demanda]						
Icc/II	3≤h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h<50	TDD
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20<50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50<100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100<1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Nota. Se debe considerar que la Tabla 5, solo es para los armónicos impares. Tomada de ARCERNR (2020).

Además, se debe tomar en cuenta los límites para armónicos pares corresponden al 25% de los límites indicados en la Tabla 5.

Donde:

I_{cc} = Corriente máxima de cortocircuito en el PCC

I_L = Corriente máxima de carga a frecuencia fundamental a 60 Hz

Tabla 6

Nivel máximo de distorsión armónica de corriente pares

Nivel máximo de armónicos pares [% de la corriente máxima de demanda]						
I_{cc}/I_L	$3 \leq h \leq 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
<20	1	0.5	0.375	0.15	0.075	1.25
20<50	1.75	0.875	0.625	0.25	0.125	2
50<100	2.5	1.125	1	0.375	0.175	3
100<1000	3	1.375	1.25	0.5	0.25	3.75
>1000	3.75	1.75	1.5	0.625	0.35	5

Nota. Nivel máximo para armónicos pares, considerando el 25% de los límites de la Tabla 5.

2.5. Hipótesis

¿Al realizar el análisis de calidad de energía eléctrica en la empresa textil Etiquetex S.A. ubicada en el cantón Quito mediante la regulación ARCERNNR 002/20, se podrá obtener métricas que permitan identificar los problemas que presenta en el suministro de energía la empresa, y de esta manera proponer planes para mejorar su calidad de energía eléctrica?

2.6. Variables de Investigación

2.6.1. Variable Independiente

Análisis de la calidad de energía eléctrica en la empresa textil Etiquetex S.A ubicada en el Cantón Quito, mediante la Regulación ARCERNNR 002/0

2.6.2. Variable Dependiente

Propuesta de mejora de la calidad de energía en la empresa textil Etiquetex S.A

Capítulo III

3. Metodología

3.1. Modalidad de la Investigación

En el presente trabajo de titulación se basa en el análisis de la calidad de energía el cuál consta de tres etapas principales, los cuales permiten orientar el proceso para desarrollar estrategias de investigación, con el fin de solucionar el problema actual que tiene la Empresa Textil Etiquetex S.A.

- La primera etapa es la caracterización de la calidad de energía, se utiliza el método descriptivo que reseña las características de la calidad de la energía eléctrica, sus causas y efectos en máquinas eléctricas como motores, generadores, entre otros, además se identifica la situación actual de la empresa bajo estudio.
- En la segunda etapa, se emplea el método empírico o experimental para la recolección de datos, además se toma en cuenta el procedimiento para hacer uso del equipo de medición.
- Finalmente, en la tercera etapa se emplea el método inductivo, que permite evaluar calidad de la prestación del servicio de energía eléctrica mediante los indicadores que establece la Regulación ARCERNNR 002/20, posteriormente a esto se ejecuta el diseño de la propuesta validando mediante la simulación.

Figura 10

Metodología para el análisis de calidad de energía



3.2. Tipo de Investigación

3.2.1. Investigación Bibliográfica

El proyecto, parte con la búsqueda y recopilación de la fundamentación teórica, para ello se emplearán trabajos de tesis, libros, artículos científicos, documentos de distintas bases digitales, normativas de calidad de energía como: IEC, IEEE y la Regulación ARCERNNR 002/20, esto permite relacionar los datos existentes y de esta manera tener un mejor enfoque panorámico y sistemático del tema en cuestión, para dar una solución al problema

3.2.2. Investigación Exploratoria

La investigación exploratoria, consiste en establecer las bases de la investigación que estudia el problema en base al sistema eléctrico actual de la empresa, donde se obtiene datos cuantitativos o cualitativos.

3.2.3. Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva, consiste en detallar e interpretar los temas de calidad de energía eléctrica, sus causas y efectos en máquinas eléctricas, además se formulan las siguientes preguntas ¿Qué? ¿Cómo? ¿Cuándo? y ¿Dónde? se originó el problema del caso de estudio, con la finalidad de puntualizar las necesidades que tiene la empresa para obtener un mejor servicio de calidad de energía

3.2.4. Investigación de Campo

La investigación de campo, consiste en realizar un estudio de carga y levantamiento del diagrama unifilar de la empresa, realizando un procedimiento de manera ordenada y rigurosa para obtener datos concretos que ayuden al desarrollo del presente trabajo de titulación.

3.3. Técnicas de Recolección de Datos

3.3.1. Observación en el área de producción

Esta técnica permite tener un contacto directo con la industria, con la finalidad de entender el funcionamiento y los tiempos que se emplean en cada uno de los procesos que ejecuta la industria, de esta manera se identifica los elementos que ocasionan problemas al sistema eléctrico.

3.3.2. Instrumentos

Los instrumentos que se emplearon para obtener los datos como: voltaje, corriente, potencia entre otros, consiste en realizar un inventario de los equipos que se utilizan en cada una de las áreas, además registrar los datos de placa de los equipos para hacer un estudio de carga y levantar el diagrama unifilar de la red eléctrica en el software Etap.

3.3.3. Técnica de Análisis de Datos

El software Etap permite simular la red actual de bajo voltaje, se obtiene caídas de voltaje, cargabilidad de las líneas y transformador entre otras características que permiten evaluar la calidad de energía de la red.

3.3.4. Técnica de comprobación de hipótesis

Mediante los registros que se obtuvo del analizador de carga y la simulación del software Etap, se hace una interpretación de los resultados con la finalidad proponer soluciones a las problemáticas de suministro eléctrico, finalmente se determina las conclusiones y recomendaciones.

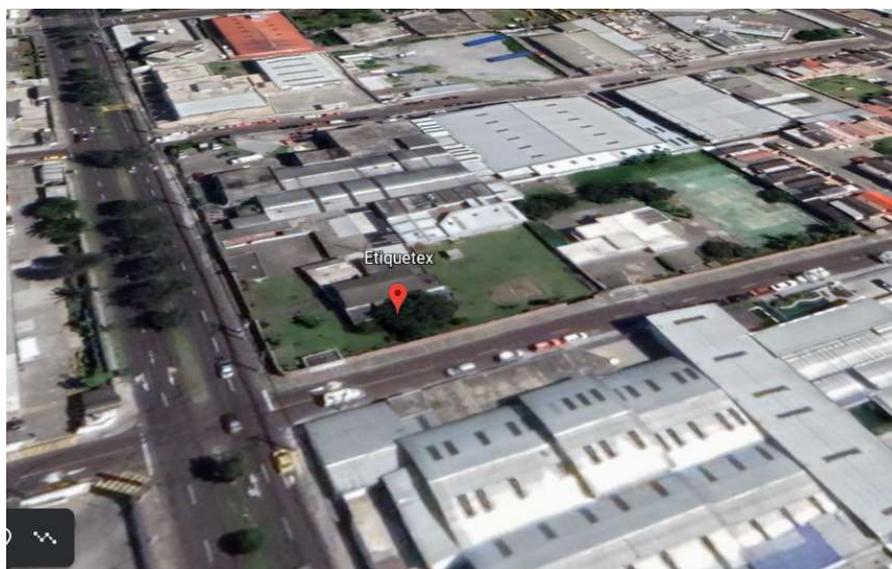
3.4. Sistema Actual

3.4.1. Descripción de la Industria

La Empresa Etiquetex S.A; dedicada a la fabricación de etiquetas: tejidas, impresas sublimadas, hang tags, pulseras, promocionales textiles, instrucciones norma técnica, shopping bags, etc., son 40 años durante los cuales se han ido adaptando a las constantes y crecientes demandas de sus clientes, la cual es encuentra ubicada en la calle Juan de Selis y Tadeo Benítez.

Figura 11

Ubicación de geográfica de la empresa Etiquetex. S.A



Nota. Mapa geográfico del área de estudio. Tomada de Earth,2021)

3.4.2. Delimitación de área de estudio de la industria

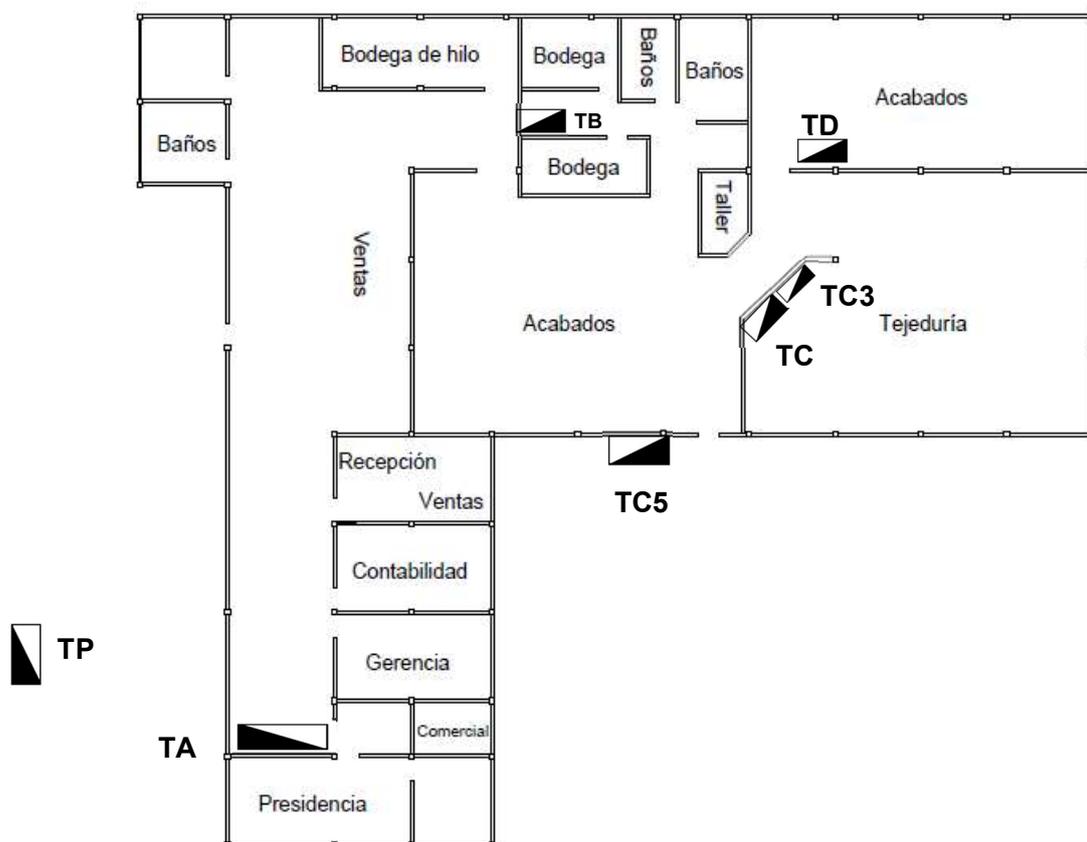
La empresa cuenta con un transformador de 45 kVA, con un nivel de voltaje de 220 V el cual abastece de energía a dos medidores, distribuidos de la siguiente manera:

- Medidor 1: Área administrativa
- Medidor 2: Área administrativa y área de producción

Para este estudio se utiliza el medidor 2, debido a que este presenta problemas en el suministro de energía, la empresa cuenta con un transformador de 45 kVA de uso privado, además dentro de sus instalaciones cuentan con 3 autotransformadores trifásicos tipo seco - elevador. Por otra parte, para ejecutar el estudio se analiza la conexión a 220/127 V, los conductores que se han empleado en el diseño de esta red eléctrica son de calibre 3x2/0 AWG + 1/0 AWG. En la Figura 12, se indica el área de estudio, la ubicación del tablero principal y subtableros.

Figura 12

Área de estudio



3.4.3. Transformador de distribución

A continuación, se detallan las características del transformador de distribución:

Tabla 7

Transformador principal

Marca	ELECTRON
Voltaje de entrada	22.8 kV
Voltaje de salida	0.220/0.127 kV
Capacidad	45 kV
Tipo de conexión	-
Z%	4
Frecuencia	60 Hz

En el área de tejeduría se encuentran ubicados tres los autotransformadores trifásicos tipo seco – elevador para el uso exclusivo de los telares #.5, #6, #7 y #8 que operan a 0.34, 0.34, 0,34 y 0.40 kV respectivamente, como se muestra a continuación.

Tabla 8

Autotransformador trifásico tipo seco - elevador

Marca	Martignoni Elettrotécnica
Voltaje de entrada	0.22 kV
Voltaje de salida	0.370-0.360-0.350-0.340-0.330 kV
Capacidad	25 kV
Tipo de conexión	Yn0
Z%	-
Frecuencia	60 Hz

Nota. Características del autotransformador, a un voltaje de 0.34 Kv, para el uso exclusivo del Telar #7

Tabla 9*Autotransformador trifásico tipo seco – elevador*

Marca	Martignoni Elettrotécnica
Voltaje de entrada	0.22 kV
Voltaje de salida	0.370-0.360-0.350-0.340-0.330 kV
Capacidad	25 kV
Tipo de conexión	Yn0
Z%	-
Frecuencia	60 Hz

Nota. Características del autotransformador, a un voltaje de 0.34 k V, uso compartido para el Telar #5 y Telar #6

Tabla 10*Autotransformador trifásico tipo seco – elevador*

Marca	Martignoni Elettrotécnica
Voltaje de entrada	0.22 kV
Voltaje de salida	0.400-0.380-0.360-0.340-0.330 kV
Capacidad	25 kV
Tipo de conexión	Yn0
Z%	-
Frecuencia	60 Hz

Nota. Características del autotransformador, a un voltaje de 0.4 kV, para el uso exclusivo del Telar#8

3.4.4. Carga instalada al transformador de 45 KVA

Se realiza un inventario y se registra cada uno de los datos de placa de los equipos que se conectan a la red eléctrica. En la Tabla 11, se indica la carga total instalada que se conecta al transformador de la Empresa Textil Etiquetex S.A que es de 151.42 kW, la carga más representativa pertenece a la prestadora con una potencia de

57.08 kW y representa el 37.69 % del total de carga instalada, mientras que en la Tabla 12, se indica el tipo de conexión de carga.

Tabla 11

Carga instalada del transformador de 45 kVA

Item	Equipos Descripción	Barra Origen - Destino	Potencia [kW]		
			Cant	Pu	Pn
1	Departamento de Gerencia	TP - TA	1	0.92	0.92
2	Departamento Administración		1	0.92	0.92
3	Urdidora	TA - TB	1	14.9	14.9
4	Cortadora láser		1	1.25	1.25
5	Oficina de Diseño		1	3.3	3.3
6	Ilum. Telar		1	0.49	0.49
7	Ilum. 1	TB - TD	1	0.1	0.1
8	Ilum. 2		1	0.1	0.1
9	Máquina de corte #1		2	1.8	3.6
10	Máquina de corte #2		2	2	4
11	Otros	TP - TC	1	3.26	3.26
12	Telar #3		1	0.6	0.6
13	Telar #4		1	0.6	0.6
14	Telar #5		1	0.6	0.6
15	Telar #6		1	0.6	0.6
16	Telar #7		1	25	25
17	Telar #8		1	25	25
18	Motor Ventilador		1	3	3
19	Prestadora	1	57.08	57.08	
20	Compresor	1	2.76	2.76	
21	Caldero	1	1.5	1.5	
22	Jacuar	1	1.84	1.84	
Pn. Total					151.42

Nota. En la tabla además de indicar la carga instalada, se puede identificar como están conectados los tableros secundarios desde el tablero principal

Tabla 12*Descripción del tipo de conexión*

Item	Equipos Descripción	Conexión	Fase
		3F - 2F - 1F	A - B - C
1	Departamento de Gerencia	1F	A
2	Departamento Administración	1F	A
3	Urdidora	3F	A - B - C
4	Cortadora láser	2F	A - C
5	Oficina de Diseño	1F	C
6	Illum. Telar	1F	A
7	Illum. 1	1F	C
8	Illum. 2	1F	A
9	Máquina de corte #1	1F	C
10	Máquina de corte #2	2F	A - C
11	Otros	2F	C - A
12	Telar #3	3F	A - B - C
13	Telar #4	3F	A - B - C
14	Telar #5	3F	A - B - C
15	Telar #6	3F	A - B - C
16	Telar #7	3F	A - B - C
17	Telar #8	3F	A - B - C
18	Motor Ventilador	2F	C - A
19	Prestadora	3F	A - B - C
20	Compresor	2F	B - C
21	Caldero	3F	A - B - C
22	Jacquar	1F	B

Nota. En la tabla se indica el tipo de conexión y la fase a la que se encuentran conectada cada carga.

3.4.5. Potencia Activa [kW]

En la Figura 13. se representa la curva de potencia activa en un intervalo de tiempo de 24 horas y en la Tabla 13, indica los valores guardados por el analizador de carga, en el que se registra una potencia activa total máxima de 12.63 kW, la demanda máxima se produce en la Fase B con 8.40 kW.

Figura 13

Comportamiento de la curva de Potencia Activa [kW]

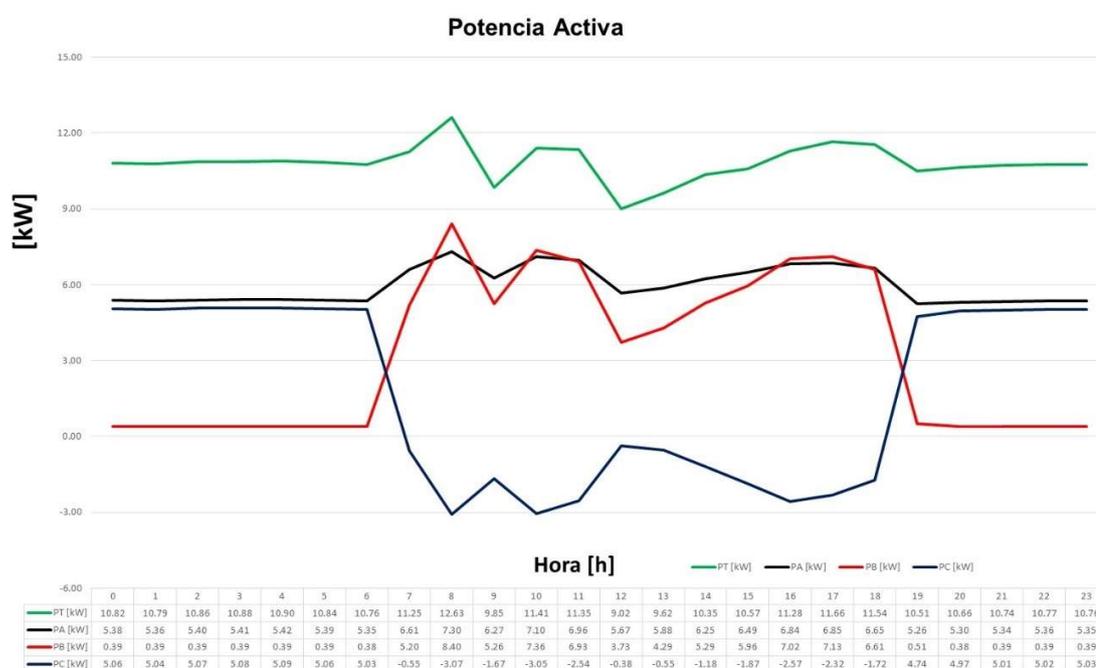


Tabla 13

Valores de potencia activa por fase

Potencia	Mínimo [kW]	Promedio [kW]	Máximo [kW]
kW_A	5.26	5.99	7.30
kW_B	0.38	3.33	8.40
kW_C	-3.07	1.57	5.09
kW_{Total}	9.02	10.83	12.63

3.4.6. Potencia Reactiva [kVAR]

En la Figura 14, se representa la curva de la potencia reactiva en un intervalo de tiempo de 24 horas, en la Tabla 14 se indica los valores registrados por el analizador de carga trifásica, en el que se registra una potencia reactiva total máxima de 28.45 kVAR, la demanda máxima se produce en la Fase C con 11.06 kVAR.

Figura 14

Comportamiento de la curva de Potencia Reactiva [kVAR]

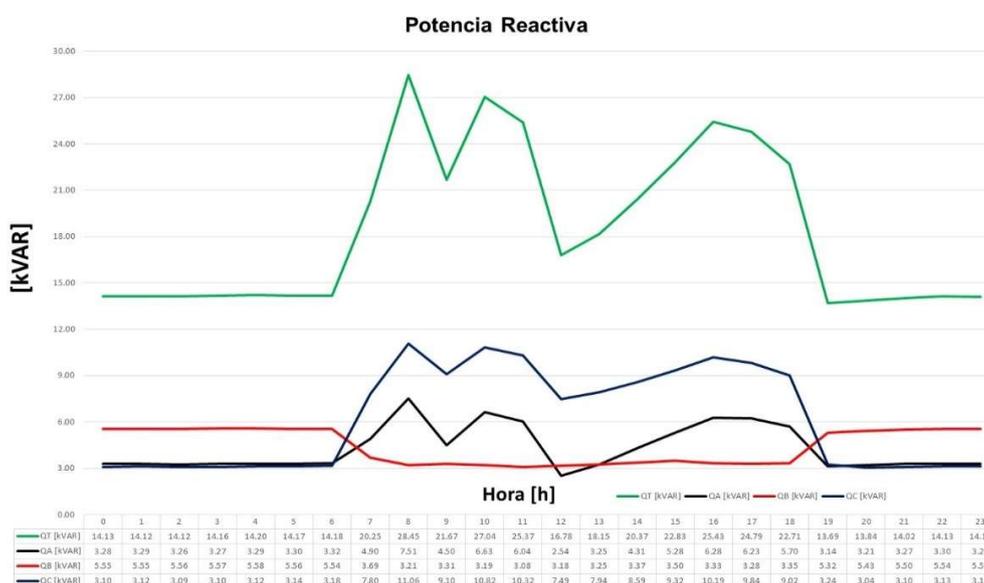


Tabla 14

Valores de potencia reactiva por fase

Potencia	Mínimo [kVAR]	Promedio [kVAR]	Máximo [kVAR]
kVAR _A	2.54	4.32	7.51
kVAR _B	3.08	4.41	5.58
kVAR _C	3.04	6.27	11.06
kVAR _{Total}	13.69	18.65	28.45

3.4.7. Potencia Aparente [kVA]

En la Figura 15, se representa la curva de la potencia aparente “demanda” en un intervalo de tiempo de 24 horas, en la Tabla 15 se indica los valores registrados por el analizador de carga trifásica, en el que se registra una potencia aparente total máxima de 31.14 kVA, la demanda máxima se produce en la Fase C con 11.47 kVA.

Figura 15

Comportamiento de la curva de Potencia Aparente [kVA]

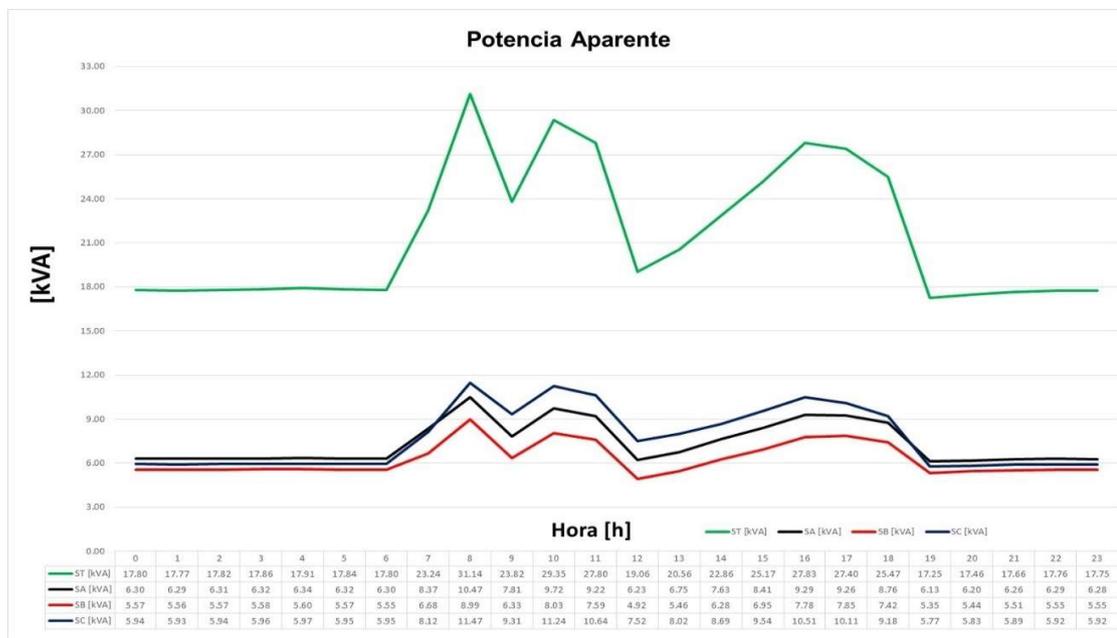


Tabla 15

Valores de potencia aparente por fase

Potencia	Mínimo [kVA]	Promedio [kVA]	Máximo [kVA]
kVA_A	6.13	7.46	10.47
kVA_B	4.92	6.33	8.99
kVA_C	5.77	7.79	11.47
kVA_{Total}	17.25	21.72	31.14

3.4.8. Factor de potencia

En la Figura 16, se representa la curva de factor de potencia en un intervalo de tiempo de 24 horas, en la Tabla 16 se indica los valores registrados por el analizador de carga trifásica, en el que se registra un factor de potencia bajo en la Fase C desde las 8:00 a.m. hasta las 19:00 p.m., horario en el que la empresa empieza con sus actividades, el factor de potencia bajo indica que la mayor parte de las cargas monofásicas son pequeñas y están conectadas en la Fase C. Por otra parte, en la Fase

A y B, se observa un factor de potencia de 0.90 y 0.53, respectivamente, esto indica que existe la presencia de armónicos en la red y para mitigar esta perturbación, se recomienda colocar un filtro activo.

Figura 16

Curva del Factor de potencia



Tabla 16

Factor de potencia en cada fase

Factor de Potencia	Minimo [FP]	Media [FP]	Máximo [FP]
FP_A	0.81	0.90	0.99
FP_B	0.07	0.53	1.00
FP_C	0.07	0.51	0.88
FP_{Total}	0.44	0.53	0.58
$FP_{Promedio}$	0.32	0.65	0.96

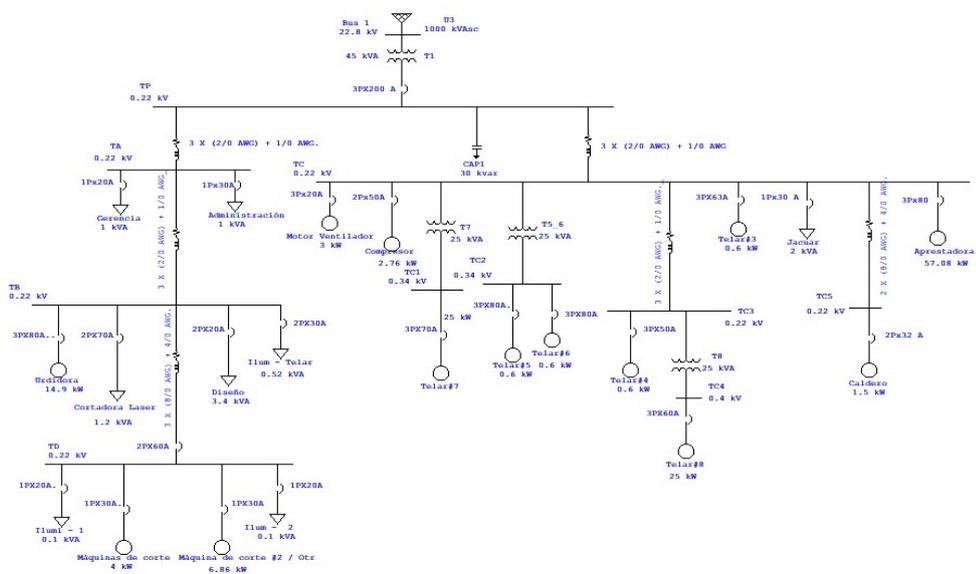
Nota. Se registra un bajo factor de potencia en la fase C, debido a cargas monofásicas que se encuentran instaladas en la red.

3.4.9. Simulación del sistema eléctrico actual

La Figura 17, indica el diagrama unifilar actual de la empresa en base a la investigación de campo que se realizó en la empresa.

Figura 17

Diagrama unifilar de la empresa



Nota. En el diagrama unifilar, se indica el calibre de conductor de cada acometida, la carga que se conecta a cada tablero, elementos de protección y el tipo de conexión: monofásica, bifásica y trifásica

Para realizar el diagrama unifilar en el software Etap, se considera crear la librería Armónicos y carga todos los parámetros correspondientes como se indica a continuación:

Figura 18

Creación de la librería para armónicos

Harmonic Library Editor

Tesis TDD Current Source

Device Type
 Power Electronic
 Other

Rectifier Data
 Hz #
 Fund. Freq. 60 Input Pulse 0 Max. m 0

Fund. Current 94 Amp

Harmonics

Order	Hz	Mag (%)	Mag (A)	Ang (°)
2	120	1.5	1.4	0
3	180	8.7	8.2	0
4	240	0.5	0.5	0
5	300	22.8	21.4	0
6	360	0.9	0.8	0
7	420	17	16	0
8	480	0.9	0.8	0
9	540	6.9	6.5	0
10	600	0.5	0.5	0
11	660	8.7	8.2	0

Waveform

Spectrum

Nota. Al ingresar los datos de acuerdo al registro que se obtuvo con el analizador de carga, se observa como varia la onda por la presencia de armónicos

El flujo de potencia se realiza con carga balanceada, considerando la demanda máxima con la finalidad de observar el comportamiento de la red a plena carga y ver si

el voltaje en barras, cargabilidad de las líneas, se encuentran dentro de valores permitidos que establece la regulación.

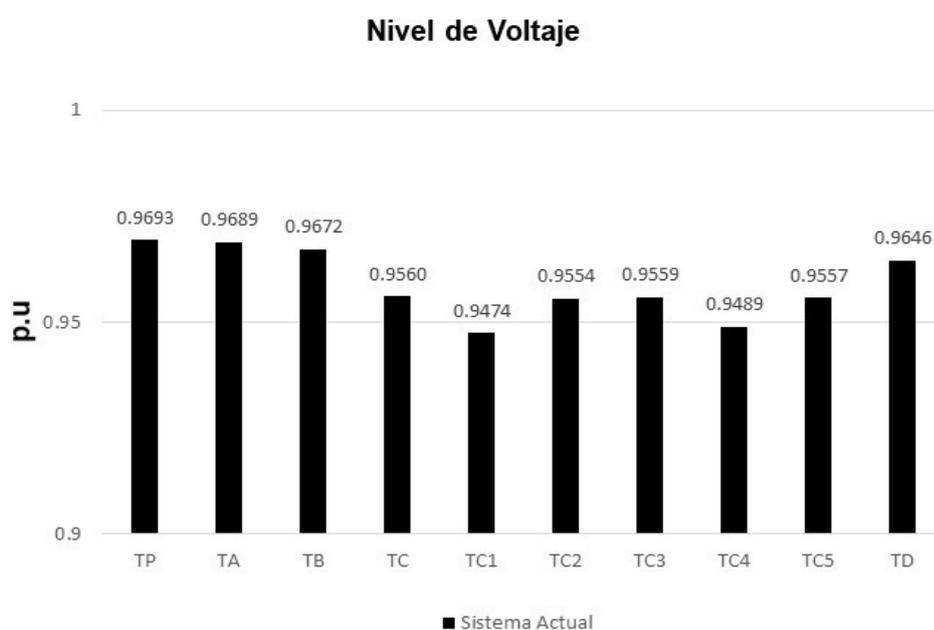
Del Flujo de potencia y de armónicos se obtiene los siguientes datos:

Tensión en Barras

En la Figura 19, se indica que no existe voltajes menores al 0.94 por unidad.

Figura 19

Nivel de voltaje en barras en p.u



Nota. La caída de voltaje más representativa se produce en la barra TC1 con 0.9474 en p.u, mientras que el pico más alto se manifiesta en la barra principal con 0.9693 en p.u.

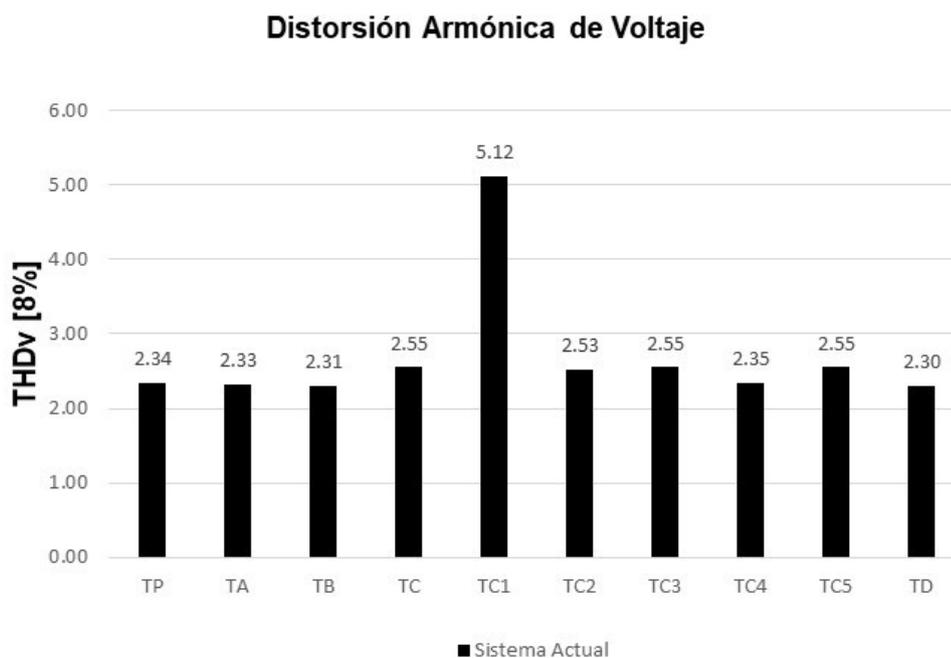
Distorsión Armónica de Voltaje

En la Figura 20, indica que existe la presencia de armónicos en todo el tablero TC y sus subtableros TC1, TC2, TC3 y TC5, el valor más representativo proviene del

subtablero TC1 con un THD de 5.12%, pero se encuentra dentro del margen permitido del 8% que establece la regulación.

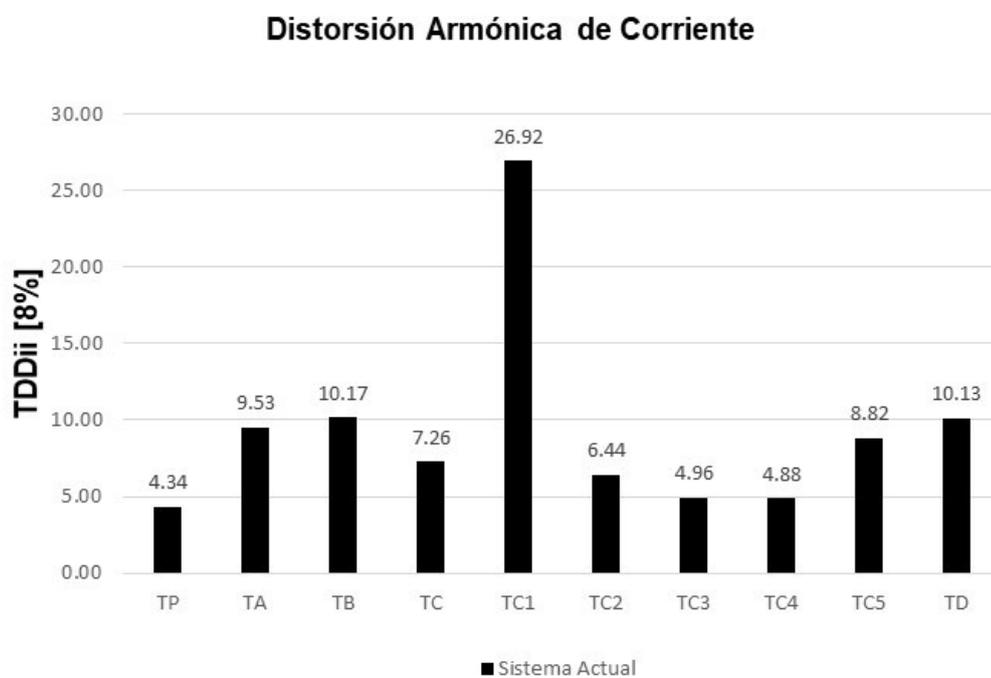
Figura 20

Distorsión armónica de voltaje – Red eléctrica actual



Distorsión Armónica de Corriente

En la Figura, indica que existe la presencia de armónicos en todo el sistema eléctrico, el valor más representativo proviene del subtablero TC1 con un TDD de 26.92%, parámetro que se encuentra fuera del margen permitido que establece la regulación.

Figura 21*Distorsión armónica de corriente – Red eléctrica de actual*

Capítulo IV

4. Resultados de la Investigación

4.1. Introducción

En este capítulo, se analiza los datos que se obtienen del analizador de carga trifásica de la marca Fluke modelo 434, el equipo de medición guarda los datos durante siete días consecutivos del 22 al 29 de noviembre, con intervalos de 10 minutos, obteniendo 1008 muestras de cada parámetro eléctrico. Adicionalmente se compara con los resultados que se obtuvieron con la simulación en el software Etap expresadas en porcentaje.

4.2. Análisis de Calidad de Energía

Figura 22

Equipo Analizador de Carga Trifásica Marca FLUKE Modelo 434



Nota. Analizador de carga con todos sus accesorios.

Figura 23

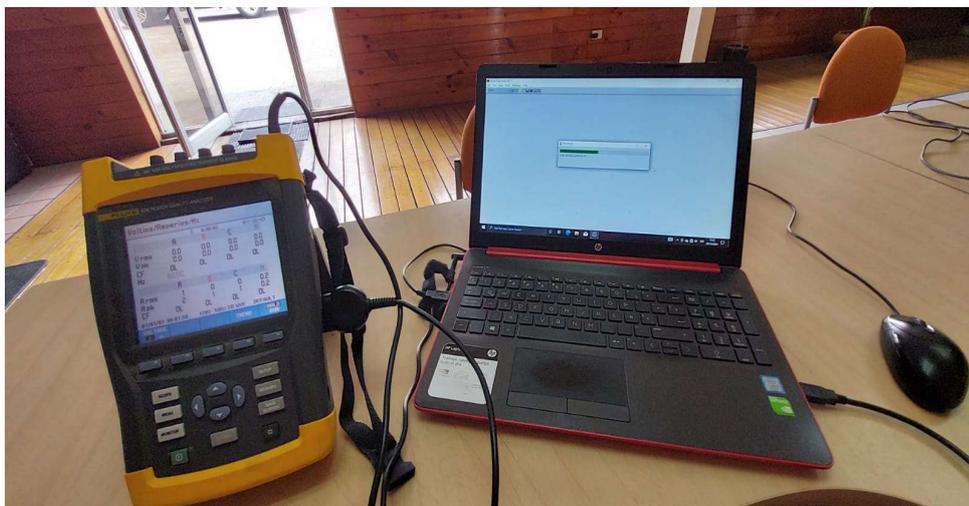
Instalación del equipo en el tablero principal de la empresa



Nota. Instalar el equipo de manera ordenada para evitar alguna avería en el equipo.

Figura 24

Descarga de datos



Nota. La descargar de datos se lo realiza mediante el software Power Log Classic.

4.2.1. Nivel de voltaje

A continuación, se indica los datos obtenidos por cada fase son:

- a. Voltaje Fase – Neutro [V_{F-N}]

Tabla 17

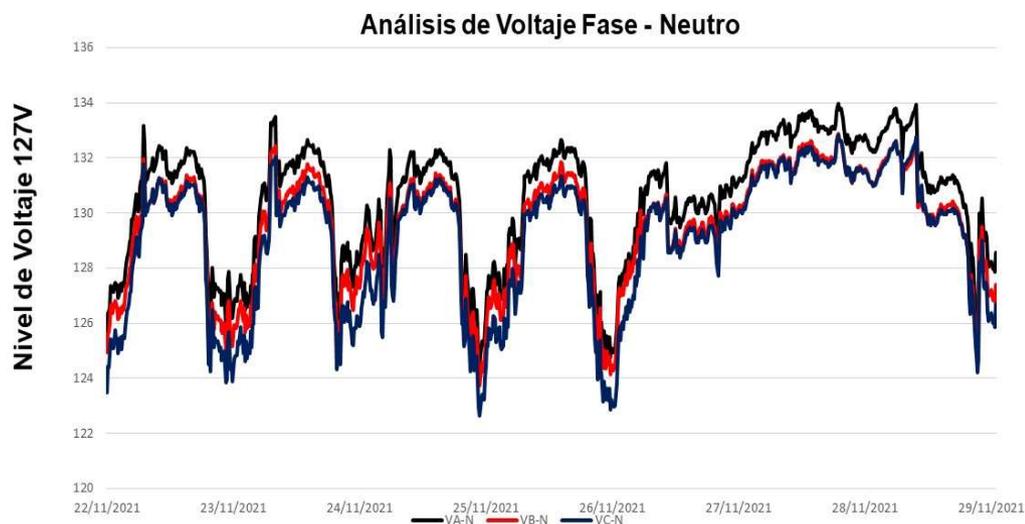
Niveles de voltaje: Mínimo, Media, Máxima de cada una de las fases

Voltaje	Mínimo [V]	Media [V]	Máximo [V]	% De variación	ARCERNNR 002/200
V_{A-N}	123.43	130.50	133.97	3.69	Si cumple
V_{B-N}	123.73	129.53	132.86	3.06	Si cumple
V_{C-N}	122.63	129.06	132.82	3.22	Si cumple

Nota. De un total de 1008 datos, se obtiene un cumplimiento del 100%. Como se observa en la Tabla 12, las mediciones se encuentran dentro del margen permitido según la Regulación ARCERNNR 002/20 que establece que no debe superar el $\pm 8\%$ del voltaje nominal en el punto de medición.

Figura 25

Nivel de voltaje por fase



Nota. Comportamiento de los niveles de voltaje Fase – Neutro, además se puede apreciar que el día 28/11/2021 a las 06:19:34 alcanza el voltaje máximo de 133.97 V en la Fase A, mientras que el 25/11/2021 a las 10:39:34 el voltaje decae hasta 122.63 V en la Fase C

b. Voltaje Fase – Fase [V_{F-F}]

Tabla 18

Niveles de voltaje: Mínimo, Media y Máxima Línea a Línea

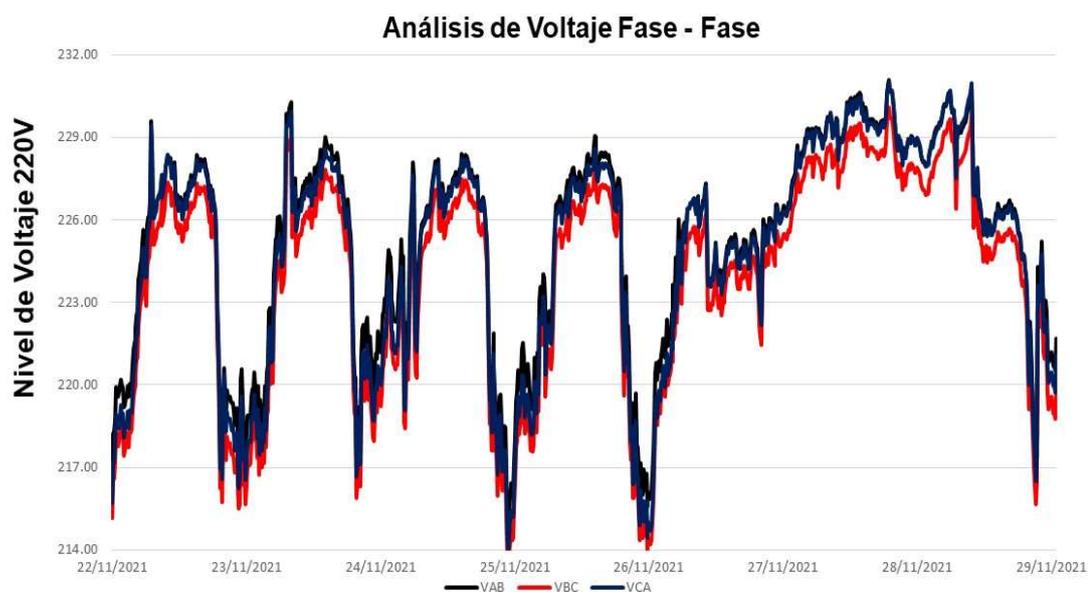
Voltaje	Mínimo [V]	Media [V]	Máximo [V]	% De variación	ARCERNR 002/200
V_{AB}	214.532	222.87	227.7	2.43	Si cumple
V_{BC}	217.09	217.09	225.15	1.66	Si cumple
V_{CA}	216.97	224.76	229.14	2.57	Si cumple

Nota. Comportamiento de los niveles de voltaje Línea – Línea, se observa que el porcentaje de variación máxima es de 2.57% en la Línea CA, el cual no es un

porcentaje de variación significativa, debido a que no supera el $\pm 8\%$ del voltaje nominal en el punto de medición.

Figura 26

Niveles de Voltaje Línea a Línea



Nota. Comportamiento de los niveles de voltaje Línea – Línea

c. Voltaje Neutro [V_N]

Tabla 19

Niveles de voltaje: Mínimo, Media y Máxima del Neutro

Voltaje	Mínimo [V]	Promedio [V]	Máximo [V]
V_N	0.01	0.014	0.02

Nota. Como se puede observar, el pico más alto de voltaje en el neutro es de 0.02 V, tomando en cuenta que el nivel de voltaje en la línea del neutro debe ser cero, se determina que los niveles se encuentran dentro de los parámetros admisibles.

4.2.2. Corriente

a. Corriente Fase - Neutro

Tabla 20

Niveles de corriente: Mínimo, Media, Máxima y Neutro

Corriente [A]	Mínimo [A]	Media [A]	Máximo [A]
I_{A-N}	31.6	52.87	100.8
I_{B-N}	28.3	50.23	92.1
I_{C-N}	32	57.64	118.6
I_N	9.4	41.68	123.2

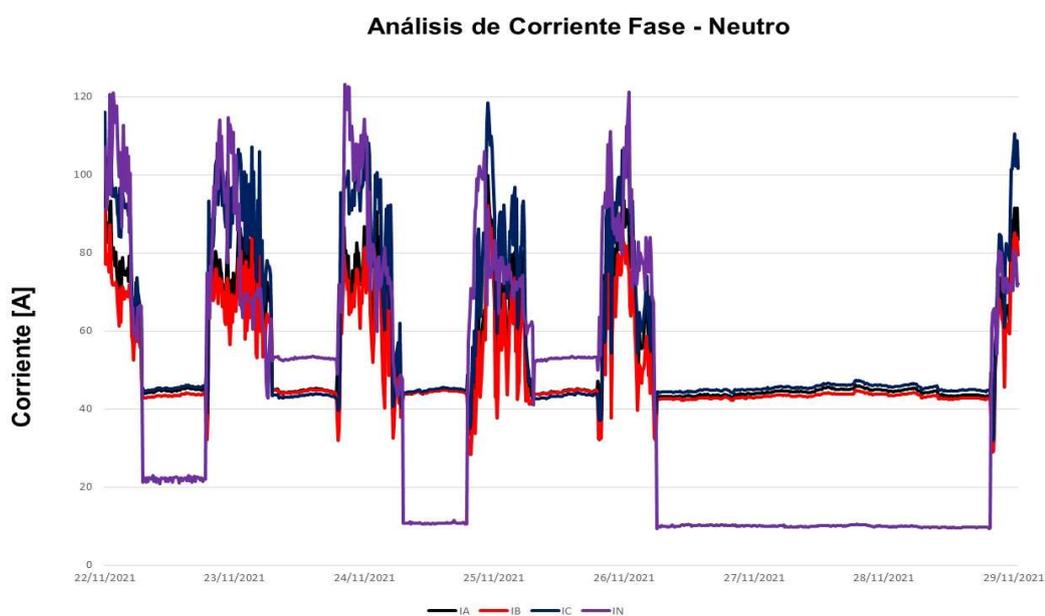
Nota. Mediante los datos de la tabla, se puede determinar que la Fase A y la Fase C, se encuentran sobrecargadas, con una I_{max} de 100.8 y 118.6 A, respectivamente.

Además, se debe tener en cuenta que la corriente en el neutro es elevada.

b. Curva de Corriente

Figura 27

Curva de corriente por fase



Nota. Se puede observar que las cargas no lineales que se encuentran conectadas a la red afectan en la corriente del neutro, alcanzando un valor máximo de 123.2 A.

4.2.3. Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker)

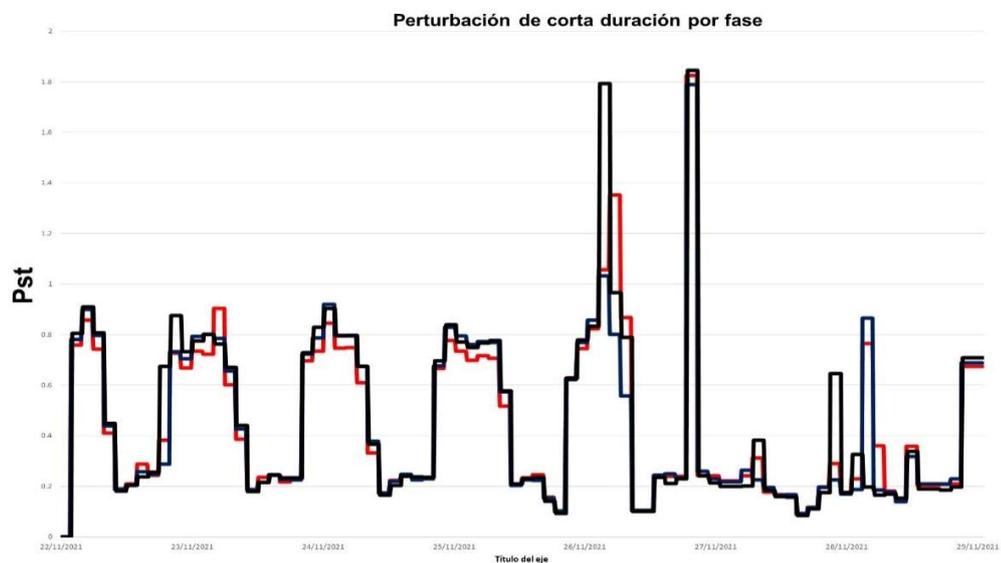
El valor permitido para el índice de severidad flicker de corta duración (Pst), no debe superar la unidad, acuerdo a la norma IEC 61000-4-15, el cual mide la severidad de las variaciones periódicas de amplitud con intervalos de medición 10 minutos.

Como se indica en la Tabla, la Pst se encuentra dentro del margen permitido según la Regulación ARCERNNR 002/20 que establece que no debe superar la unidad, pero se puede observar que existe valores que sobrepasan la unidad por lo que a continuación, se analiza si el 95% de las muestras se encuentran dentro del margen permitido por la regulación vigente.

Tabla 21

Perturbación rápida de voltaje (Flicker)

Pst	Pst Min	Pst Medio	Pst Máx	Pst Prom [%]	ARCERNNR 002/200
Pst_{A-N}	0	0.4543	1.846	0.77	Si cumple
Pst_{B-N}	0	0.4386	1.825	0.75	Si cumple
Pst_{C-N}	0	0.4356	1.789	0.74	Si cumple

Figura 28*Magnitudes registradas del Flicker*

Nota. Comportamiento de la curva (Flicker), el día 26/11/21 en el horario comprendido de las 14:09:34 hasta las 15:59:34 se presenta eventos donde provocan que el índice de severidad por flicker supere la unidad en las tres fases, pero en la fase B se mantiene con este problema hasta las 17:59:34, además el día 27/11/2021 nuevamente se presenta este tipo de inconveniente a las 06:09:34 hasta las 07:59:34.

En las siguientes gráficas, se presentan las magnitudes registradas del flicker en el periodo de medición para cada una de las fases

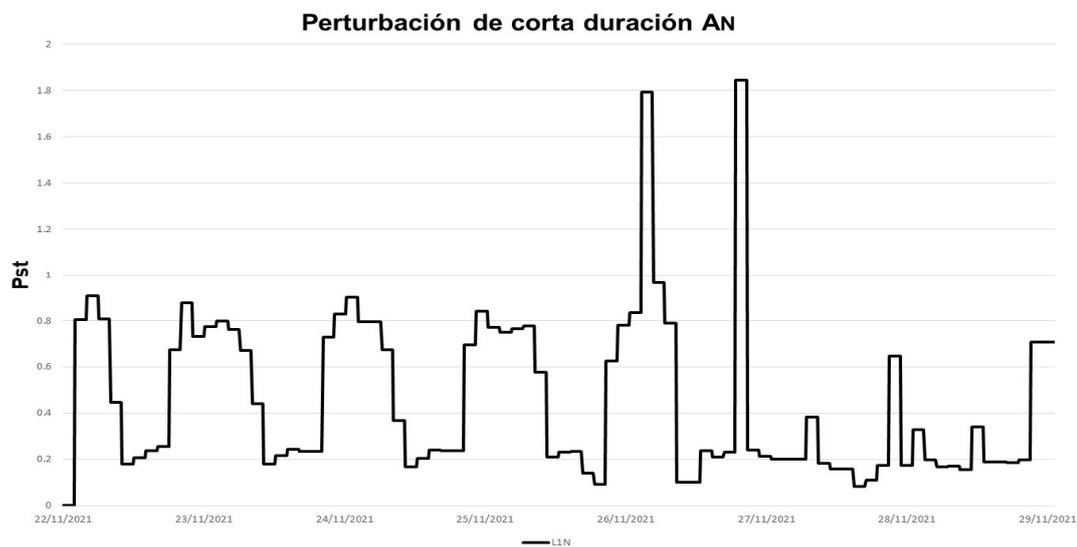
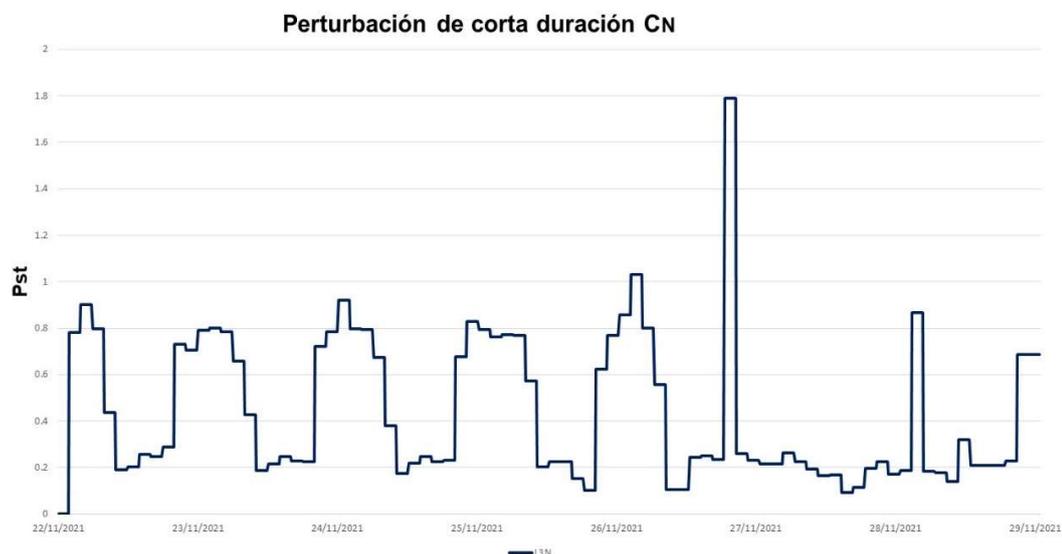
Figura 29*Flicker Fase A***Figura 30***Flicker Fase B*

Figura 31*Flicker Fase C*

Como existen valores que superan el valor de la unidad en el índice de severidad flicker, se analiza el porcentaje de cumplimiento, es decir, el número de muestras que no cumplen con el rango admisible no debe ser mayor al 5%, para que se encuentre dentro del rango permitido por la regulación

Tabla 22*Porcentaje de cumplimiento (Flicker)*

Total, de muestras	Fase A	Fase B	Fase C
	1008	1008	1008
Muestras mayores al limite	24	36	24
% de cumplimiento	97.62	96.43	97.62

Nota. Del total de 1008 muestras por cada fase, se obtiene que el porcentaje de cumplimiento es del 97.62 %, 96.43% y 97.62% para las fases A, B y C respectivamente, la cual indica que más del 95% de los valores registrados se encuentran dentro del rango admisible

4.2.4. Armónicos

4.2.4.1. Distorsión Armónica de voltaje

El analizador de carga registra un THD total del 6,79 %, el cual se encuentra dentro del margen permitido del $\pm 8\%$ según establece la Regulación ARCERNNR 002/20 en base a la normativa IEEE Std-519-2014, pero se puede observar que en la fase A y B tienen se registra un THD Máx de 8.661 y 9.525 respectivamente, que sobrepasan el $\pm 8\%$ por lo que se procede a analizar el factor de distorsión armónica individual con la finalidad de identificar la razón del por qué, existen esos valores elevados del THD.

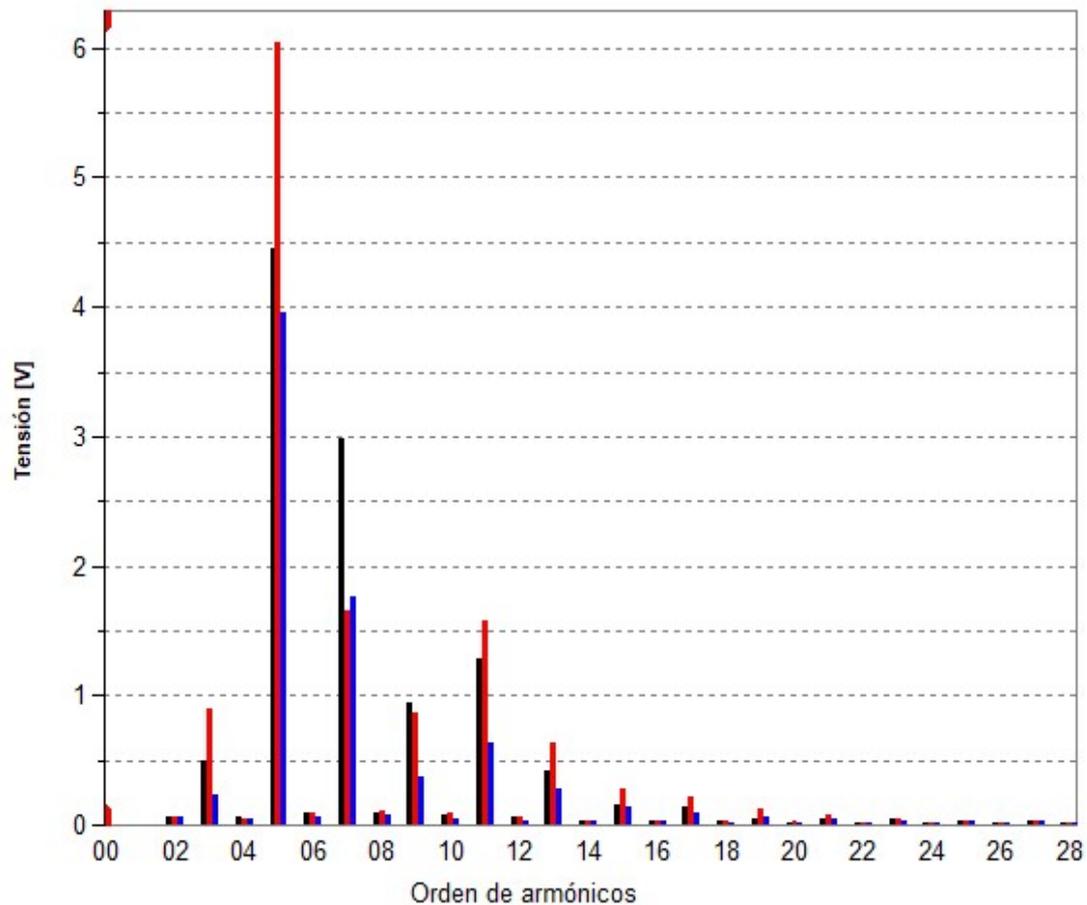
Tabla 23

Distorsión Armónica de voltaje por cada fase

THD Voltaje	THD Min [%]	THD Med [%]	THD Máx [%]	THD Prom [%]	ARCERNNR 002/200
THD_{A-N}	3.86	5.633	8.661	6.05	Si cumple
THD_{B-N}	4.226	6.63	9.525	6.79	Si cumple
THD_{C-N}	3.084	4.416	6.344	4.61	Si cumple

Figura 32

Orden de armónicos de voltaje por cada fase



Nota. Orden de armónicos en cada fase, se observa que existe armónicos de orden 5, los cuales presentan valores de 4.446 V, 6.048 V y 3.953 V para la fase A, B y C, respectivamente. Tomada del equipo Fluke 434 (2021)

A continuación, se indica el factor de distorsión armónica individual de cada fase.

Tabla 24

Resultado de la distorsión armónica de voltaje en la Fase A

Armónicas Fase A								
Limite THDv	Mínimo	THDv	Máximo	Número de muestras mayores al limite				
8%	3.86	5.633	8.661	3				
Cumplimiento con la regulación		SI	x	99.70%	NO	0.30%		
Armónicas Individuales								
Impares no múltiplos de 3								
Orden Armónica	5	7	11	13	17	19		
Límite THDv	6	5	3.5	3	2	1.5		
Valor medido	6.927	5.071	2.797	1.086	0.334	0.111		
Muestra > Limite	140	28	0	0	0	0		
Cumple			X	X	X	X		
No Cumple	X	X						
Porcentaje no cumple	13.89%	2.78%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
Orden Armónica	23	25	29	31	35	37		
Límite THDv	1.5	1.5	1.32	1.24	1.12	1.07		
Valor medido	0.113	0.068	0.048	0.045	0.027	0.031		
Muestra > Limite	0	0	0	0	0	0		
Cumple	X	X	X	X	X	X		
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
Orden Armónica	41	43	47	49				
Límite THDv	0.990	0.950	0.890	0.860				
Valor medido	0.025	0.025	0.024	0.025				
Muestra > Limite	0	0	0	0				
Cumple	X	X	X	X				
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%				
Impares múltiplos de 3								
Orden Armónica	3	9	15	21	27	33	39	45
Límite THDv	5	1.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Valor medido	0.691	1.535	0.357	0.102	0.026	0.026	0.026	0.024
Muestra > Limite	0	14	0	0	0	0	0	0
Cumple	X		X	X	X	X	X	X
No Cumple		X						

Armónicas Fase A								
Porcentaje no cumple	0.00%	1.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	Pares							
Orden Armónica	2	4	6	8	10	12	14	16
Limite THDv	2	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5
Valor medido	0.097	0.094	0.148	0.156	0.140	0.099	0.044	0.035
Muestra >								
Límite	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X	X
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Orden Armónica	18	20	22	24	26	28	30	32
Limite THDv	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Valor medido	0.031	0.031	0.030	0.029	0.028	0.028	0.027	0.026
Muestra >								
Límite	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X	X
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Orden Armónica	34	36	38	40	42	44	46	48
Limite THDv	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Valor medido	0.025	0.025	0.025	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023
Muestra >								
Límite	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X	X
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Orden Armónica	50							
Limite THDv	0.5							
Valor medido	0.023							
Muestra >								
Límite	0							
Cumple	X							
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%							

Nota. En la Fase A, se registran armónicos de orden 5 y 7 con 6.927 y 5.071 V, respectivamente

Armónicas Fase B								
	Pares							
Orden Armónica	2	4	6	8	10	12	14	16
Limite THDv	2	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5
Valor medido	0.098	0.076	0.133	0.178	0.162	0.095	0.052	0.041
Muestra > Límite	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X	X
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Orden Armónica	18	20	22	24	26	28	30	32
Limite THDv	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Valor medido	0.031	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026
Muestra > Límite	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X	X
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Orden Armónica	34	36	38	40	42	44	46	48
Limite THDv	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Valor medido	0.025	0.025	0.025	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023
Muestra > Límite	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X	X
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Orden Armónica	50							
Limite THDv	0.5							
Valor medido	0.023							
Muestra > Límite	0							
Cumple	X							
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%							

Nota. En la Fase B, existe armónicos de orden 5 y 9 con 9.030 y 1.698 V.

Armónicas Fase C								
	Pares							
Orden Armónica	2	4	6	8	10	12	14	16
Limite THDv	2	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5
Valor medido	0.095	0.055	0.094	0.142	0.061	0.060	0.036	0.032
Muestra > Límite	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X	X
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Orden Armónica	18	20	22	24	26	28	30	32
Limite THDv	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Valor medido	0.031	0.030	0.030	0.029	0.028	0.027	0.027	0.026
Muestra > Límite	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X	X
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Orden Armónica	34	36	38	40	42	44	46	48
Limite THDv	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Valor medido	0.025	0.025	0.025	0.024	0.024	0.024	0.024	0.023
Muestra > Límite	0	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X	X
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Orden Armónica	50							
Limite THDv	0.5							
Valor medido	0.023							
Muestra > Límite	0							
Cumple	X							
No Cumple								
Porcentaje no cumple	0.00%							

Nota. En la Fase C, existe un único armónico de orden 5 con 6.077 V.

En lo referente a la distribución armónica total de voltaje (THDv) se puede observar que todos los registros se encuentran dentro del margen permitido, a excepción del factor de distorsión armónica individual de orden 5, 7 y 9.

En conclusión, según el THDv medido proporciona la siguiente información:

- THDv <5% | No afecta en el funcionamiento de los equipos
- $5\% \leq \text{THDv} \leq 8\%$ | Indica una distorsión armónica representativa, podría ocasionar problemas en el funcionamiento de los equipos
- THDv $\geq 8\%$ | Los equipos tienden a presentar problemas en su funcionamiento, es necesario instalar un sistema de atenuación.

4.2.4.2. Distorsión de Demanda Total

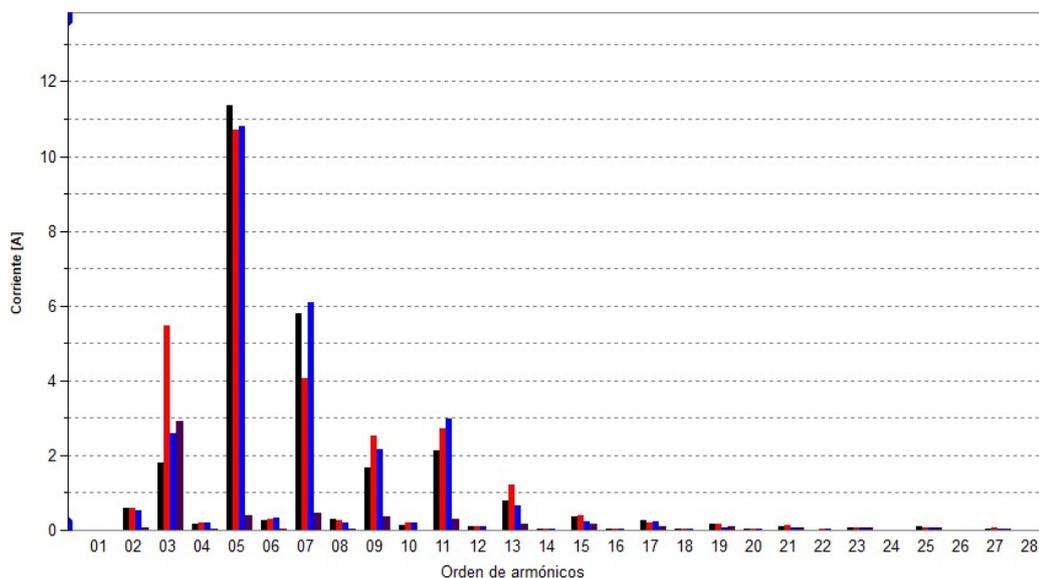
El analizador de carga registra un TDD total que supera margen permitido del $\pm 8\%$ según establece la Regulación ARCERNNR 002/20 en base a la normativa IEEE Std-519-2014, como se observa en las fases A, B y C se registra un TDD Máx de 23.48, 21.96 y 23.52 respectivamente, que sobrepasa el % admisible por lo que se procede a analizar el factor de distorsión armónica individual con la finalidad de identificar los armónicos que están afectando a la red eléctrica.

Tabla 27 Factor de distorsión de demanda total

TDD Corriente	TDD Min [%]	TDD media [%]	TDD Máx [%]	TDD Prom [%]	ARCERNNR 002/200
TDD _{A-N}	6.14	13.22	23.48	14.28	No cumple
TDD _{B-N}	6.99	13.31	21.96	14.09	No cumple
TDD _{C-N}	6.71	13.23	23.52	14.49	No cumple
TDD _N	0.52	3.04	4.78	2.78	-

Figura 33

Orden de armónicos de corriente por cada fase

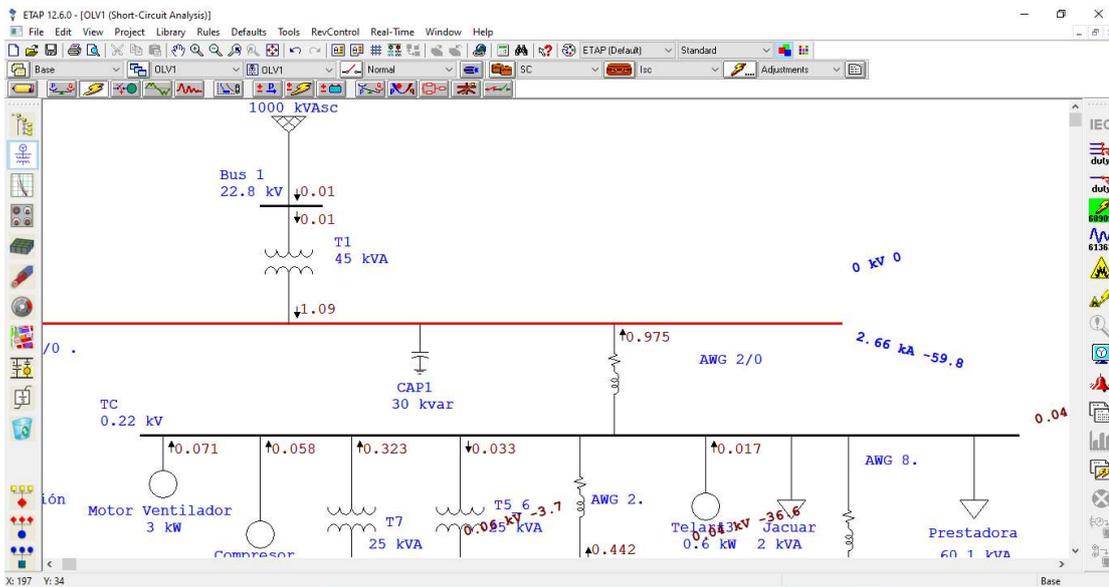


Nota. Orden de armónicos en cada fase, se observa que existe armónicos de orden 5, los cuales presentan valores 11.37 A, 10.71 A y 10.79 para la fase A, B y C, respectivamente. Tomada del equipo Fluke 434 (2021)

Para analizar el factor de distorsión armónica individual de corriente, primero se debe obtener los valores de corriente máxima de cortocircuito en el PCC y la corriente máxima de carga a frecuencia fundamental a 60 Hz, para esto, se hace uso del software Etap para calcular la I_{cc} trifásica del sistema y la I_L para cada fase obtiene el software Fluke, como se observa en las siguientes imágenes.

Figura 34

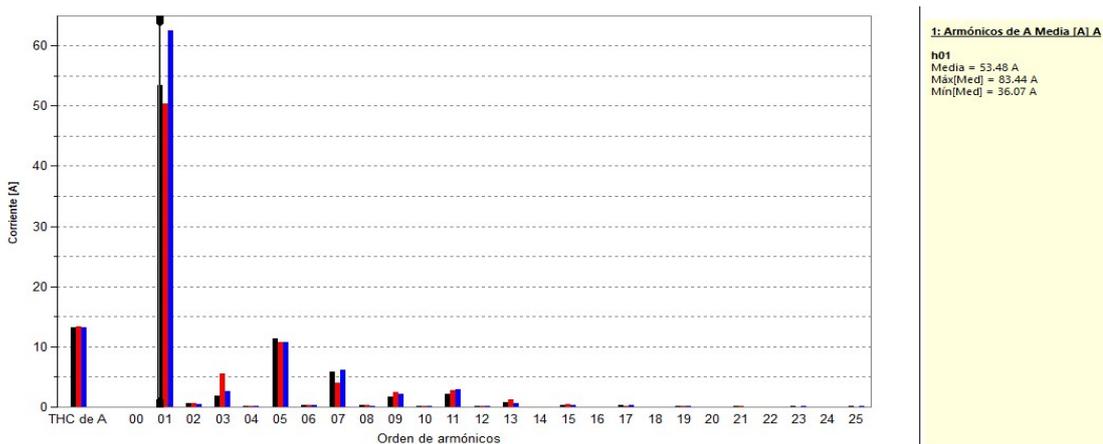
Resultado de la Icc mediante el software Etap 12.6



Nota. La corriente máxima de corto circuito en el PCC (Punto de acoplamiento común) es de 2.66 [kA].

Figura 35

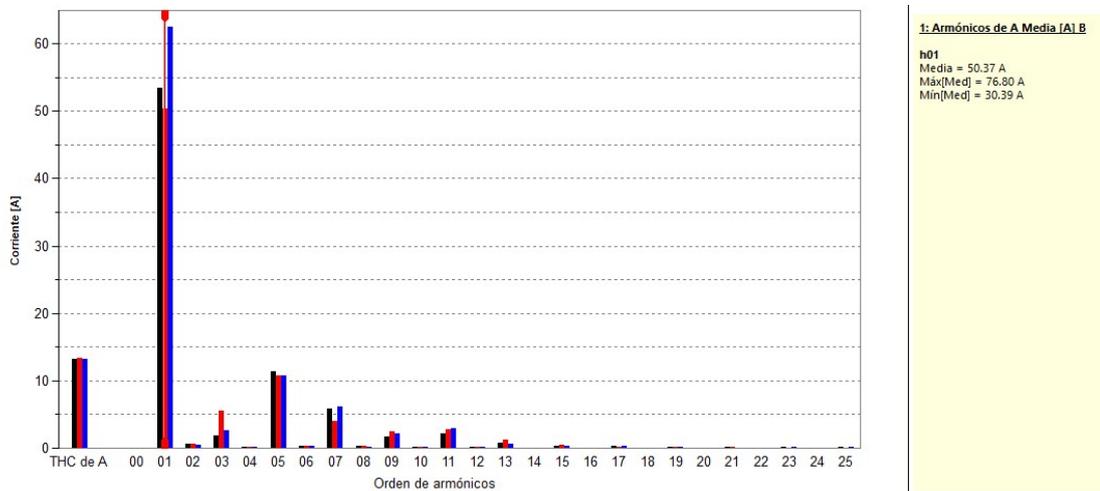
Resultado de la corriente máxima de carga en la fase A



Nota. La corriente máxima de carga a frecuencia fundamental para la fase A es de 83.44 [A]. Tomada de Fluke (2021).

Figura 36

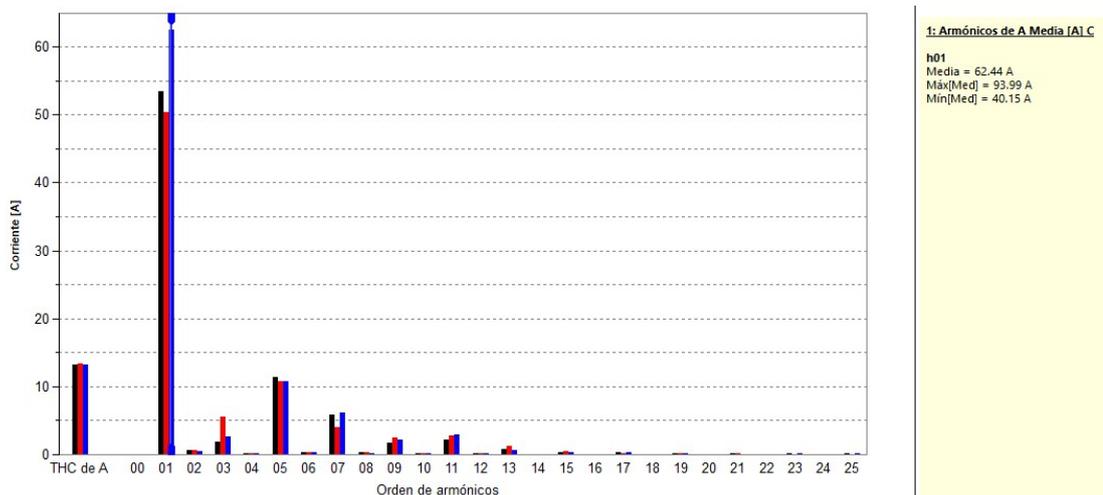
Resultado de la corriente máxima de carga en la fase B



Nota. La corriente máxima de carga a frecuencia fundamental para la fase B es de 76.8 [A]. Tomada de Fluke (2021).

Figura 37

Resultado de la corriente máxima de carga en la fase C



Nota. La corriente máxima de carga a frecuencia fundamental para la fase C es de 93.99 [A]. Tomada de Fluke (2021).

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{2660}{83.44} = 31.87$$

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{2660}{76.8} = 34.63$$

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{2660}{93.99} = 28.30$$

Aplicando la fórmula, se determina el valor de relación de corto circuito para la fase A, B y C es de 31.87, 34.63 y 28.30, respectivamente. En base a estos valores se selecciona la relación I_{cc}/I_L de $20 < 50$ de la Tabla 5 y Tabla 6 para determinar si los niveles de armónicos impares y pares, respectivamente.

Tabla 28

Resumen de nivel máximo de armónicos pares e impares

Nivel máximo de armónicos						
[% de la corriente máxima de demanda]						
I_{cc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
Impares						
20<50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
Pares						
20<50	1.75	0.875	0.625	0.25	0.125	2

Tabla 29*Resultados de distorsión armónica individual por cada fase*

$I_{h,1}$	Fase A		Fase B		Fase C	
	53.48		50.37		62.44	
H	$I_{h,10}$	DI_{h-10A}	$I_{h,10}$	DI_{h-10B}	$I_{h,10}$	DI_{h-10C}
h02	0.58	1.085	0.58	1.151	0.52	0.833
h03	1.79	3.347	5.47	10.860	2.58	4.132
h04	0.17	0.318	0.2	0.397	0.21	0.336
h05	11.37	21.260	10.71	21.263	10.79	17.281
h06	0.28	0.524	0.29	0.576	0.31	0.496
h07	5.8	10.845	4.07	8.080	6.1	9.769
h08	0.3	0.561	0.25	0.496	0.2	0.320
h09	1.66	3.104	2.51	4.983	2.15	3.443
h10	0.13	0.243	0.2	0.397	0.19	0.304
h11	2.13	3.983	2.71	5.380	2.98	4.773
h12	0.1	0.187	0.08	0.159	0.1	0.160
h13	0.77	1.440	1.22	2.422	0.64	1.025
h14	0.04	0.075	0.05	0.099	0.04	0.064
h15	0.36	0.673	0.39	0.774	0.24	0.384
h16	0.03	0.056	0.03	0.060	0.03	0.048
h17	0.26	0.486	0.19	0.377	0.24	0.384
h18	0.02	0.037	0.02	0.040	0.02	0.032
h19	0.15	0.280	0.16	0.318	0.08	0.128
h20	0.02	0.037	0.02	0.040	0.02	0.032
h21	0.1	0.187	0.14	0.278	0.05	0.080
h22	0.01	0.019	0.02	0.040	0.02	0.032
h23	0.08	0.150	0.07	0.139	0.08	0.128
h24	0.01	0.019	0.02	0.040	0.02	0.032
h25	0.1	0.187	0.07	0.139	0.08	0.128
h26	0.01	0.019	0.02	0.040	0.02	0.032
h27	0.04	0.075	0.05	0.099	0.03	0.048
h28	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h29	0.05	0.093	0.06	0.119	0.06	0.096
h30	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h31	0.06	0.112	0.05	0.099	0.06	0.096
h32	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h33	0.02	0.037	0.03	0.060	0.02	0.032
h34	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h35	0.03	0.056	0.04	0.079	0.04	0.064
h36	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h37	0.02	0.037	0.03	0.060	0.03	0.048
h38	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h39	0.02	0.037	0.02	0.040	0.02	0.032

$I_{h,1}$	Fase A		Fase B		Fase C	
	53.48		50.37		62.44	
h40	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h41	0.03	0.056	0.03	0.060	0.03	0.048
h42	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h43	0.02	0.037	0.02	0.040	0.02	0.032
h44	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h45	0.02	0.037	0.02	0.040	0.02	0.032
h46	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h47	0.02	0.037	0.02	0.040	0.02	0.032
h48	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016
h49	0.01	0.019	0.02	0.040	0.02	0.032
h50	0.01	0.019	0.01	0.020	0.01	0.016

Nota. Se determina que existe armónicos de corriente del orden 3, 5, 7 y 11 en la red.

En conclusión, según el TDDi medido, proporciona la siguiente información:

- TDDi <8% | No afecta en el funcionamiento de los equipos
- $8\% \leq \text{TDDi} \leq 50\%$ | Existe la posibilidad que aumente la temperatura, lo que involucra sobredimensionar los cables
- $\text{TDDi} \geq 50\%$ | Los equipos tienden a presentar problemas en su funcionamiento, reduciendo así la vida útil del mismo.

4.2.5. Desequilibrio de voltaje

Tabla 30

Desequilibrio de voltaje: Mínimo, media y máximo

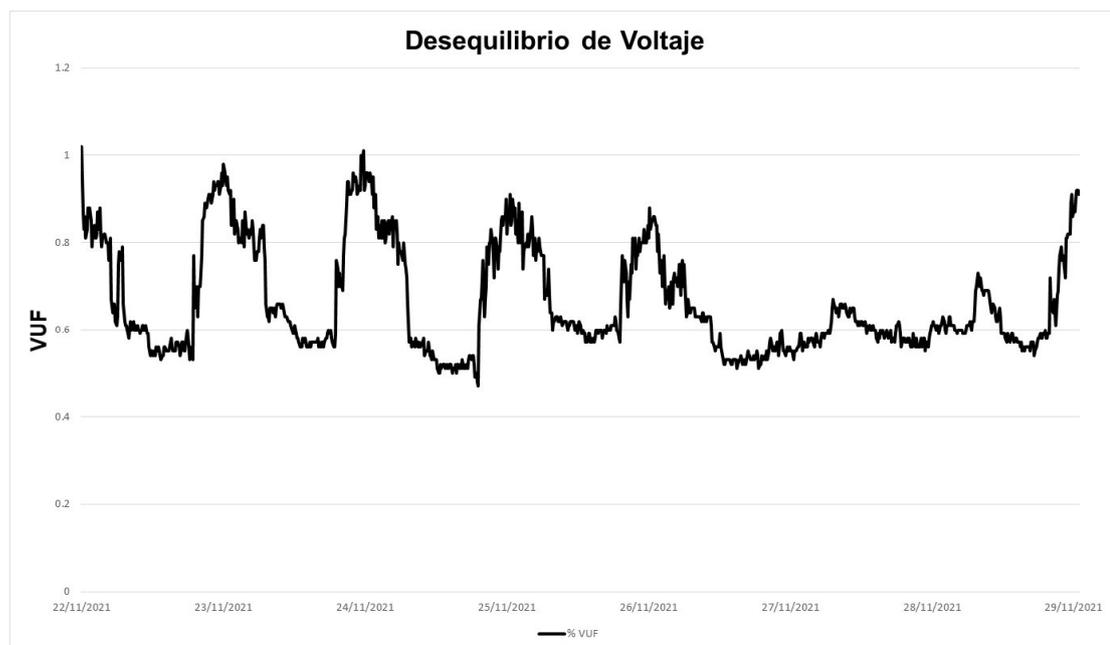
Desequilibrio de Voltaje	Mínimo [%]	Media [%]	Máximo [%]	Prom [%]	ARCERNR 002/200
V_{UF}	0.47	0.66	1.02	0.72	Si cumple

Nota. De un total de 1008 datos, se obtiene un cumplimiento del 100%. Como se observa en la Tabla, las mediciones se encuentran dentro del margen permitido según la Regulación ARCERNR 002/20 que establece que el valor límite para el índice de

desequilibrio de voltaje en el punto de medición será de 2% para todos los niveles de voltaje

Figura 38

Curva de Desequilibrio de voltaje



Nota. El día 25/11/2021 a las 06:59:34 se produce el desequilibrio de mínimo de voltaje de 0.47% mientras que el 22/11/21 a las 12:19:34 se alcanza el desequilibrio máximo de voltaje de 1.02%, valores que se encuentran dentro del rango permitido según la regulación vigente

4.3. Diagnóstico

Corriente

Los valores que se obtuvieron mediante la simulación del software y los datos registrados por el analizador de carga, indica que el error máximo para la corriente se registra en la Fase C con 2.61 %, además se comprueba que la Fase A y Fase C se encuentran sobrecargadas, de acuerdo a lo expuesto anteriormente.

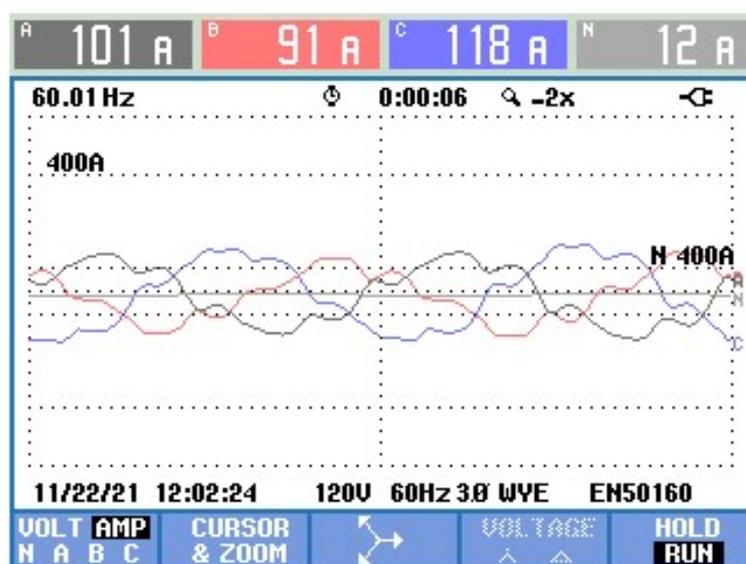
Tabla 31

Comparación de corriente entre analizador y software

Corriente [A]	Máximo Analizador [A]	Máximo Etap [A]	Error [%]
I _{A-N}	100.8	102.40	1.59%
I _{B-N}	92.1	93	0.98%
I _{C-N}	118.6	115.5	2.61%

Figura 39

Corrientes de fase registrado por el analizador



Nota. En la figura se puede observar que las Fases A, B y C registran un valor de 101,91 y 118 A, respectivamente. Tomado del equipo Fluke (2021).

Finalmente, se detalla de manera simplificada los pasos que se deben seguir para mejorar las condiciones de operación en la red de Bajo Voltaje de acuerdo al análisis realizado.

a) Niveles de voltaje

El análisis indica que los niveles de voltaje se encuentran dentro del margen admisible, por esta razón no es necesario ejecutar ninguna propuesta de mejora al respecto.

b) Perturbación (Flicker)

El análisis indica que existen algunos registros que superan el valor de la unidad en el índice de severidad flicker, en cuanto al porcentaje de cumplimiento, no supera el 5%, por lo que se encuentra del rango permitido por la regulación, por este motivo no es necesario ejecutar ninguna propuesta de mejora al respecto, pero si el problema persiste se recomienda implementar un compensador estático de reactivos (SVC) automático, este equipo es una combinación de capacitores y reactores que permiten regular los niveles de voltaje, que varían debido a la carga fluctuante.

c) Armónicos

En el análisis se determina que los niveles de distorsión armónica total de voltaje "THDv", no sobrepasan el límite establecido por la regulación, en cambio con la distorsión de demanda total "TDDi", los valores que se registran son elevados. Por esta razón es necesario implementar una propuesta de solución para mitigar esta perturbación, la cual consiste en implementar un filtro activo, teniendo en cuenta que la empresa ya posee un banco de capacitores de 30 kVAR instalado en su tablero principal.

Capítulo V

5. Propuesta

5.1. Tema de la propuesta

Diagnóstico y rediseño de las instalaciones eléctricas mediante un criterio de factibilidad de implementación en la Empresa Textil Etiquetex S.A. ubicada en el sector de Carcelén.

5.2. Datos informativos

Institución: Empresa Textil Etiquetex S.A.

Dirección: Quito, Juan de Selis 76 - 24 y Tadeo Benítez

Sector: Carcelén Industrial

Tipo de empresa: Sociedad Anónima

Tamaño de la empresa: Mediana

Beneficiarios: Empresa Textil Etiquetex S.A

5.3. Objetivos

5.3.1. *Objetivo General*

Elaborar un plan de mejora para evitar el corte de suministro eléctrico en la Empresa Textil Etiquetex S.A, empleando la normativa vigente de Calidad y Energía

5.3.2. *Objetivos Específicos*

- Diseñar la red de bajo voltaje en el software Etap en base a los datos de potencias que se registraron en el día más representativo del tiempo de medición
- Analizar la condición de operación actual y la propuesta de mejora mediante la simulación, para ubicar los lugares donde existe caídas de voltaje considerables que afectan al desempeño de los equipos

- Identificar los equipos que provocan las perturbaciones en la red eléctrica de BV.
- Balancear carga y seleccionar el calibre correcto para los conductores de la red eléctrica propuesta
- Concluir y recomendar en base a la experiencia obtenida durante el desarrollo del proyecto

5.4. Diseño de la propuesta

A continuación, una vez analizado a detalle cada capítulo del presente trabajo de titulación. En esta sección se propone las alternativas para solucionar los problemas encontrados; considerando que la propuesta debe cumplir con los indicadores de calidad que establece la normativa vigente.

Para elaborar el plan de mejora, se toma en cuentas los siguientes aspectos por parte de la empresa:

- Mantenimiento anual al transformador de 45 kVA
- En el 2015 se realizó un estudio debido a que se presentaron problemas en el suministro de energía, los resultados reflejan que existe un bajo factor de potencia, por lo que se implementa un banco de capacitores de 30 kVA, instalado en el tablero principal y de esta manera alcanzar un F.P de 0.93 como se puede observar en la Figura 40.

Figura 40

Factor de potencia en el tablero principal

Potencia y energía				
FUND	0:00:03			
	A	B	C	Total
kW	7.6	7.3	10.2	25.0
kVA	7.9	7.5	10.3	25.7
kVAR	± 2.1	± 2.0	± 1.4	± 5.5
PF	0.90	0.91	0.96	0.93
DPF	0.96	0.97	0.99	0.97
A rms	66	64	85	
	A	B	C	
V rms	126.4	125.4	124.5	
11/22/21 11:59:21 120V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

Nota. La imagen registra un factor de potencia de 0.93 el 22 de noviembre del 2021.

Tomado del equipo Fluke (2021).

Para efectuar un estudio de flujo de potencia, primero se debe balancear la carga. En la Tabla 32, se indica la propuesta del balance de carga.

Tabla 32

Balace de carga

Item	Equipos Descripción	Conexión 3F - 2F - 1F	Actual	Propuesta
			Fase A - B - C	Fase A - B - C
1	Departamento de Gerencia	1F	A	B
2	Departamento Administración	1F	C	C
3	Urdidora	3F	A - B - C	A - B - C
4	Cortadora láser	2F	A - C	A - C
5	Oficina de Diseño	1F	A	B
6	Ilum. Telar	1F	C	C
7	Ilum. 1	1F	A	C
8	Ilum. 2	1F	C	C
9	Máquina de corte #1	1F	A	A
10	Máquina de corte #2	2F	A - C	A - C
11	Otros	2F	B - C	B - C
12	Telar #3	3F	A - B - C	A - B - C

	Equipos	Conexión	Actual	Propuesta
			Fase	Fase
13	Telar #4	3F	A - B - C	A - B - C
14	Telar #5	3F	A - B - C	A - B - C
15	Telar #6	3F	A - B - C	A - B - C
16	Telar #7	3F	A - B - C	A - B - C
17	Telar #8	3F	A - B - C	A - B - C
18	Motor Ventilador	2F	A - B	A - B
19	Prestadora	3F	A - B - C	A - B - C
20	Compresor	2F	A - B - C	A - B - C
21	Caldero	3F	A - B - C	A - B - C
22	Jacuar	1F	B	B

Nota. La tabla indica el balance de carga para el diseño de la red de la propuesta.

Posteriormente se tiene en cuenta la presencia de armónicos de corriente en la red eléctrica, problemática que en la mayoría de industrias medianas o grandes ocurren, usualmente en el diseño del sistema eléctrico se emplea un calibre del conductor para el neutro con la misma capacidad que los conductores para las fases, aunque algunos códigos eléctricos de ciertos países, permiten un tamaño por debajo de las fases, pero un diseño apropiado para el conductor del neutro, es aplicar un factor de corrección aproximadamente del 200% que exceda la capacidad de las fases. Otra manera de mitigar el daño de los armónicos, es llevar los conductores del neutro de manera separada para cada circuito, en lugar de instalar varios circuitos de derivación con neutro compartido, eso permite aumentar la capacidad de los circuitos de derivación para cargas no lineales, eliminando con éxito la adición de las corrientes armónicas en los neutros del circuito. (Eléctricaplicada, 2022)

Actualmente, la empresa dentro sus instalaciones tienen un cableado por tuberías conduit empleando un conductor 3X2/0 AWG +1/0 AWG. A continuación, se verifica si el calibre del conductor empleado es el correcto, para esto se calcular la

sección del conductor de la fase, utilizando el criterio de máxima intensidad de corriente admisible, mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \theta}$$

Donde:

- P = Potencia absorbida
- $\cos \theta$ = Factor de potencia
- V = Voltaje de alimentación

El criterio indica que a la corriente calculada se le debe aplicar un factor de corrección 1.25, debido a que se debe sobredimensionar el conductor para soportar la corriente nominal.

$$V = 220V$$

$$P = S * FP$$

$$P = 45KVA * 0.95$$

$$P = 42750[W]$$

$$P = \sqrt{3}VI \cos \theta$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \theta}$$

$$I = \frac{42750}{\sqrt{3} * 220 * 0.95}$$

$$I = 118.09[A]$$

Entonces, la intensidad que pasa por el conductor aplicando el factor de corrección es de 147.61 A, de esta manera se selecciona el calibre del conductor para el neutro utilizando la siguiente tabla.

Figura 41

Conductores para red de Bajo Voltaje

Sección Transversal	Temperatura nominal del conductor						Calibre
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	Tipo S, TW, UF	Tipos FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	Tipos TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-E, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW*, UF*	Tipos RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	Tipos TBS, SA, SIS, THHN*, THW-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm ²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	----	----	14	----	----	----	18
1,31	----	----	18	----	----	----	16
2,08	20*	20*	25	----	----	----	14
3,3	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,68	85	100	110	65	75	85	3
33,82	95	115	130	75	90	100	2
42,2	110	130	150	85	100	115	1
53,5	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500

Nota. Mediante la tabla se verifica que los conductores empleados para la fase esta dimensionado correctamente, pero el neutro no, debido que este debe ser sobredimensionado con el 200% para mitigar la corriente armónica, por lo que se recomienda utilizar un conductor calibre 250 kcmil que soporta 255 A. Tomado de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2018)

Por otra parte, la otra alternativa de solución consiste en diseñar un filtro activo sintonizado, que es un sistema RLC “Resistencia, Inductancia y Capacitancia” que van conectadas en serie. Se selecciona este filtro a causa del bajo factor de potencia que se identificó en la red eléctrica. El filtro activo permite elevar el factor de potencia de acuerdo a lo que establece la regulación, además ayuda a mitigar los niveles de armónicos de voltaje y corriente.

Para el diseño del filtro tomar en cuenta las siguientes características:

- Orden de armónico a mitigar
- Corriente máxima de la armónica
- Factor de potencia actual
- Factor de potencia deseado
- Demanda máxima

Figura 42

Características para el diseño del filtro activo

Nota. Diseño del filtro pasivo en el software Etap

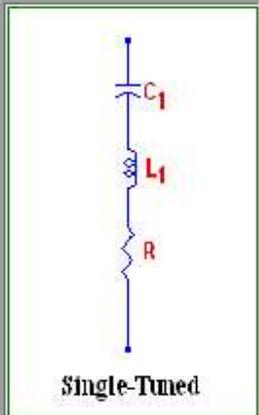
Figura 43

Valores del filtro activo

Harmonic Filter Editor - HF1

Info Parameter Reliability Remarks Comment

Filter Type
Single-Tuned



Single-Tuned

Capacitor C 1

kvar	12.981	1-Ph
μ F	711.4	1-Ph
Rated kV	0.22	
Max. kV	0.6	

Inductor L 1

X_{L1}	0.1491
Q Factor	10
Max. I	0

Capacitor C 2

kvar	0	1-Ph
μ F	0	1-Ph
Rated kV	0	
Max. kV	0	

Inductor L 2

X_{L2}	0
Q Factor	0
Max. I	0

Loading
Operating Load:

kW	0.055	+j kvar	-13.192
----	-------	---------	---------

Resistor

R	0
---	---

Size Filter ...

HF1

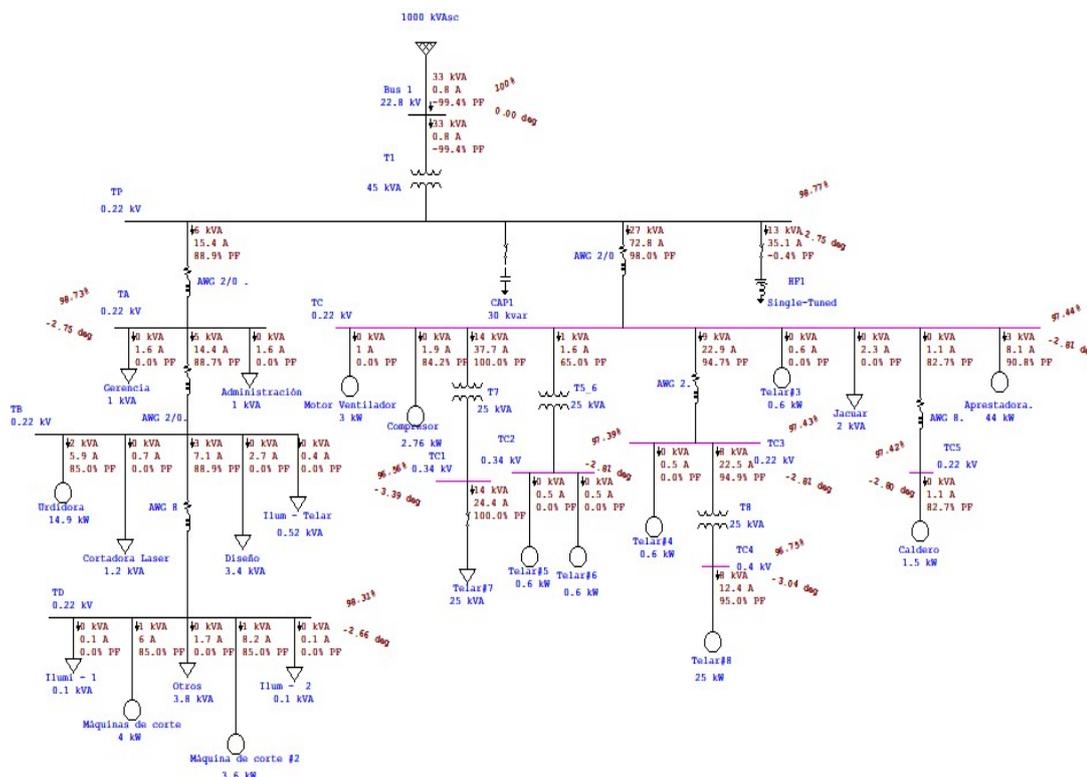
OK Cancel

Nota. El filtro permite inyecta potencia reactiva de acuerdo a las necesidades que presenta la red eléctrica de empresa de manera automática

5.5. Simulación de la propuesta

Figura 44

Flujo de potencia – Propuesta



Nota. El flujo de carga nos indica que los niveles de voltaje y factor de potencia aumentaron con respecto a la simulación de la red actual de la empresa.

Del flujo de potencia y de armónicos se obtiene los siguientes datos

Tensión en Barras

En la Tabla 33 y Figura 45, indican los valores y el comportamiento de la curva de nivel de voltaje en barra, respectivamente entre el sistema actual y la propuesta, en el cual se observa que los niveles de voltaje aumentan considerablemente, se consigue un voltaje máximo de 0.9877 en p.u en la barra principal.

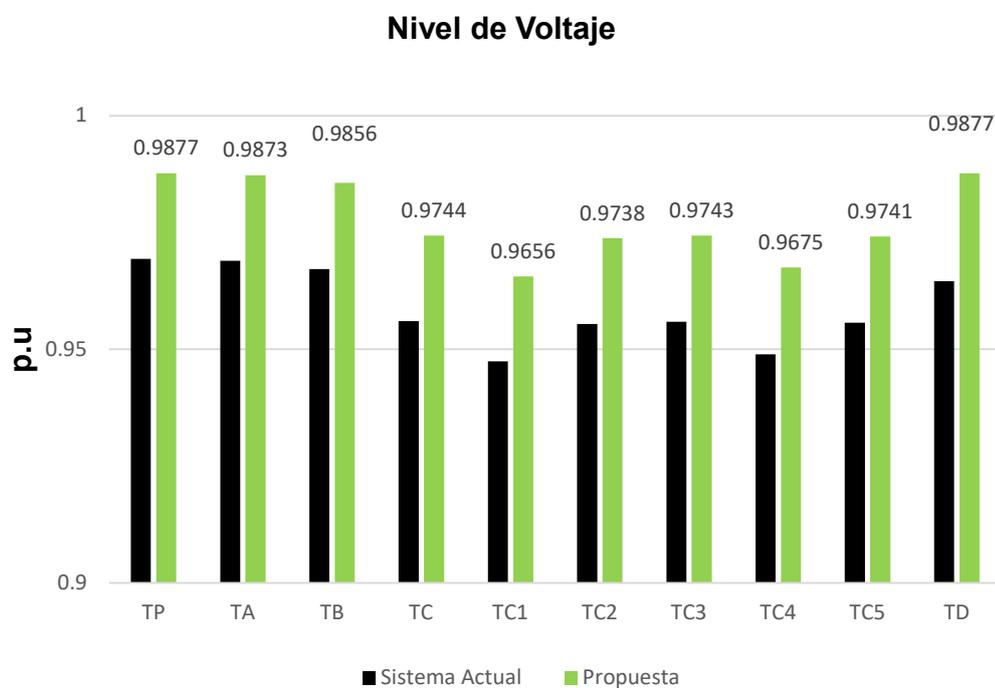
Tabla 33

Niveles de voltaje en barras - Sistema actual y la propuesta

Voltaje [p.u]		
Barra	Sistema Actual	Propuesta
TP	0.9693	0.9877
TA	0.9689	0.9873
TB	0.9672	0.9856
TC	0.9560	0.9744
TC1	0.9474	0.9656
TC2	0.9554	0.9738
TC3	0.9559	0.9743
TC4	0.9489	0.9675
TC5	0.9557	0.9741
TD	0.9646	0.9877

Figura 45

Niveles de voltajes en barras entre el sistema actual y la propuesta



Distorsión Armónica de Voltaje

En la Tabla 34 y Figura 46, indica los valores y el comportamiento de la curva de los niveles de distorsión armónica de voltaje respectivamente, que se compara entre el sistema actual y la propuesta, en el cual se observa que los niveles de distorsión disminuyen, pero no lo elimina por completo, el valor mínimo que se obtiene es en el TC y TC5 un THD de 1.40% y un THD máximo de 4.05%, valores que se encuentran dentro del margen permitido del 8% que establece la regulación.

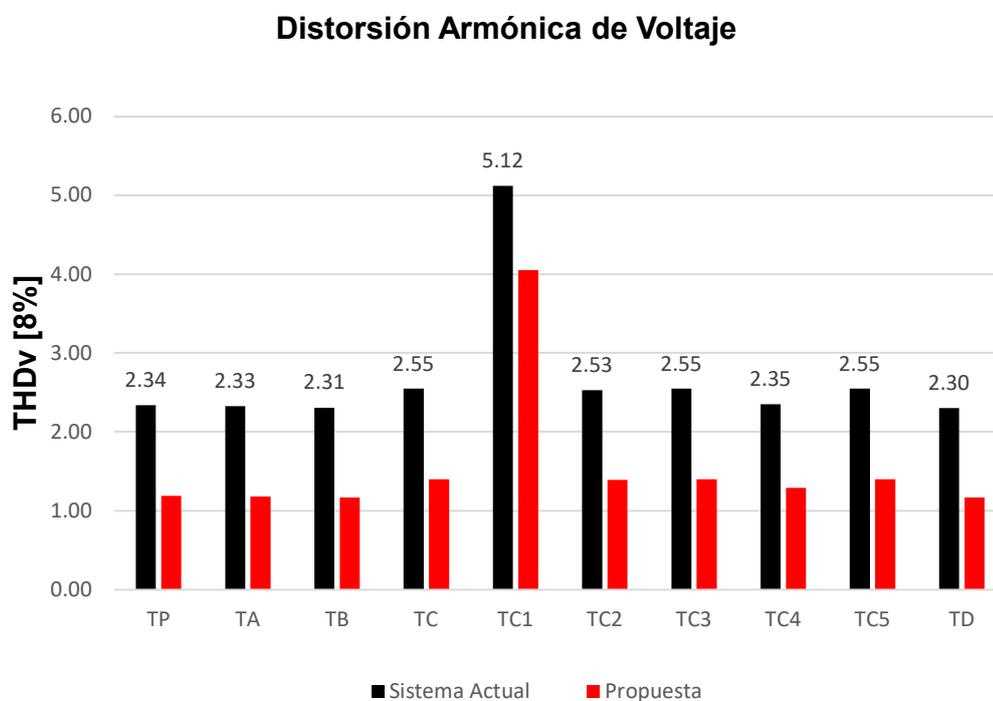
Tabla 34

Niveles de THDv en barras - Sistema actual y la propuesta

Barra	THDv [8%]	
	Sistema Actual	Propuesta
TP	2.34	1.19
TA	2.33	1.18
TB	2.31	1.17
TC	2.55	1.40
TC1	5.12	4.05
TC2	2.53	1.39
TC3	2.55	1.40
TC4	2.35	1.29
TC5	2.55	1.40
TD	2.30	1.17

Figura 46

Niveles de THDv en barras entre el sistema actual y la propuesta



Distorsión Armónica de Corriente

En la Tabla 35 y Figura 47, se indica los datos y el comportamiento de la curva de los niveles de distorsión armónica de corriente respectivamente, que se compara entre el sistema actual y la propuesta, en el cual se observa que los niveles de distorsión disminuyen considerablemente pero no lo elimina por completo, el valor mínimo que se obtiene es en el TP con un TDD de 1.40% y un TDD máximo de 27.2%.

Tabla 35

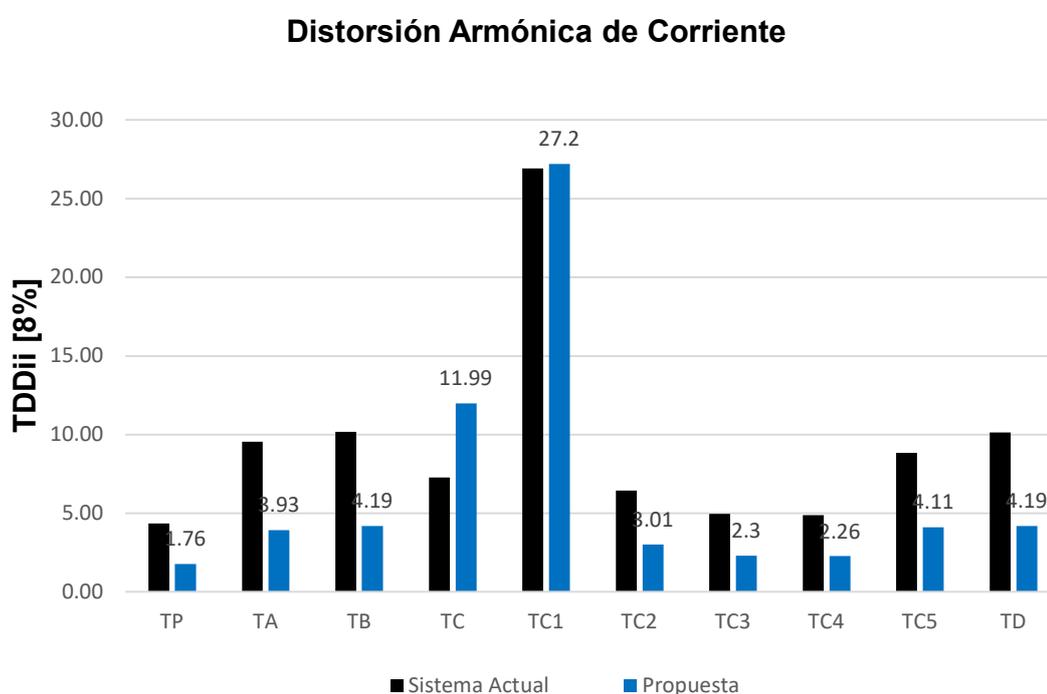
Niveles de TDDi en barras - Sistema actual y la propuesta

Barra	TDDi [8%]	
	Sistema Actual	Propuesta
TP	4.34	1.76
TA	9.53	3.93
TB	10.17	4.19
TC	7.26	11.99

	TDDi [8%]	
TC1	26.92	27.2
TC2	6.44	3.01
TC3	4.96	2.3
TC4	4.88	2.26
TC5	8.82	4.11
TD	10.13	4.19

Figura 47

Niveles de TDDi en barras entre el sistema actual y la propuesta



Se puede concluir que el filtro activo cumple con el objetivo de disminuir los niveles de armónicos tanto de corriente como de voltaje, el cual se instaló en el tablero principal debido a que el subtablero, está ubicado en un espacio pequeño lo que impide implementarlo en ese lugar, por tal motivo es que el nivel del armónico no reduce de manera considerable puesto que el filtro se encuentra ubicado en otro lugar.

Finalmente, la otra alternativa para solucionar el problema de armónicos que era el cambio del neutro no es factible económicamente además que la implementación es

difícil ejecutarla, debido a que los conductores están por tuberías conduit., lo que dificulta el cambio de conductores.

Capítulo VI

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Se concluye que la calidad de la prestación del servicio de energía eléctrica por parte de la empresa eléctrica de distribución EEQ, cumple los índices e indicadores que establece la regulación, los problemas encontrados se deben por parte de incumplimiento del consumidor, esto ocurre por el incremento paulatino de maquinaria no planificada, teniendo cargas monofásicas, bifásicas y trifásicas conectas a la red que afecta a la calidad de energía.
- Se analizó la calidad de energía del servicio eléctrico en la Empresa Textil Etiquetex S.A en el cual no existen problemas de voltaje en base a lo que establece la Regulación ARCERNNR 002/20 debido a que las variaciones se encuentran dentro del $\pm 8,0\%$ que es el rango permitido, pero en cuanto a los armónicos de corriente y flickers se tiene mediciones fuera del límite, en el caso de la perturbación del flicker no supera el 5% del total de mediciones.
- En base a los índices e indicadores que establece Regulación ARCERNNR 002/20, mediante una herramienta que permite la tabulación y análisis de datos, se determina que existe armónicos de corriente en el sistema, además se idéntica los equipos que generan los armónicos: telares y máquinas de corte lo que afecta a todo el sistema eléctrico de la empresa.
- Una vez tabulado y analizado cada índice de calidad, se determina que los equipos tecnológicos son los causantes de producir las perturbaciones en el sistema eléctrico de la empresa, debido que cuentan con controles electrónicos
- Se determina que la corriente del neutro supera al valor de las corrientes de fase con un valor 123.2 [A], esto es ocasionado por demasiadas cargas monofásicas

no lineales, el efecto que produce esta anomalía es el excesivo calentamiento, debido a que el conductor del neutro no posee ningún interruptor automático que límite el paso de la corriente como ocurre en los conductores de las fases.

- En un sistema de cuatro hilos con la presencia de corrientes armónicas que provocan las cargas no lineales, existe ciertas armónicas impares de orden 3º, 5, 7, 9º, etc. que no se anulan entre sí, sino que se suman en el conductor neutro, por lo tanto, se redimensiona el calibre del conductor en un 200% del valor de la corriente de fase.
- Los picos de corriente ocasionados por los armónicos provocan desconexiones indeseadas o más conocidas como paradas no programadas, esto implica pérdidas en la producción, para evitar eso la implementación del filtro activo es la mejor opción para disminuir la distorsión armónica de la red.

6.2. Recomendaciones

- Para evaluar la calidad de energía en una empresa, se debe emplear un analizador de energía, se recomienda instalar el equipo mínimo 7 días consecutivos, con un lapso de 10 minutos entre cada medición como establece la regulación.
- El correcto levantamiento de carga, permite ingresar los datos al software ETAP 12.6 para visualizar los flujos de potencia, tensión en barras y cargabilidad de las líneas y de esta manera comparar con los datos que se obtuvieron del analizador de carga.
- Actualmente, es importante incentivar a profundizar este tipo temas de investigación, debido a que es importante el análisis de la calidad de energía y de esta manera encontrar nuevas soluciones para el control de perturbaciones en la red

- Las perturbaciones eléctricas en la red que son causadas por los armónicos producen grandes pérdidas económicas en instalaciones industriales, por lo que se recomienda tomar las medidas oportunas, antes que los equipos sufran daños permanentes.

Bibliografía

ARCERNNR. (2020). Obtenido de Control de Recursos y Energía:

<https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/Regulacion-002-20.pdf>

Bastidas, D. (2021). *Análisis de Perturbaciones Rápidas de Voltaje (Flicker) y su incidencia en el comportamiento operativo dentro del área de concesión de la Corporación Nacional de Electricidad Bolívar [Tesis de Ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/24270>

Berasategui, I., Bonino, C., & González, J. (2019). *Análisis de perturbaciones en redes eléctricas, causas y consecuencias en sistemas de control industrial [Artículo Científico, Universidad Tecnológica Nacional]*. Obtenido de <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/wp-content/uploads/2019/11/R11-AR3.pdf>

Cajas, L. E. (2008). *Laboratorio para la investigación de la calidad de energía eléctrica [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica del Ejército]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/453/T-ESPE-018404.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Céspedes, L. E., & Saad, J. A. (2021). *Evaluación técnica y diagnóstico de la calidad de energía eléctrica [Tesis de Ingeniería, Universidad de la Salle]*. Repositorio Institucional. Obtenido de Repositorio Institucional: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1074&context=ing_electrica

- Commission Electrotechnique International al Electrotechnical Commission. (2021). *International Standard IEC 61000-4-15*. Obtenido de https://webstore.iec.ch/p-preview/info_iec61000-4-15%7Bed1.1%7Den_d.pdf
- Del Cid, M. (2018). *Análisis de calidad de energía eléctrica en una industria textil de la ciudad de Guatemala, basado en las normas técnicas de Servicio de Distribución de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica [Tesis de Pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]*. Repositorio Institucional.
- Eléctricaaplicada. (2022). *Soluciones para compensar y reducir los daños de armónicos en sistemas eléctricos*. Obtenido de <https://www.electricaplicada.com/soluciones-compensar-reducir-armonicos-electricos/>
- Electroindustria. (Enero de 2012). *Calidad del suministro de energía eléctrica*. Obtenido de Revista Electroindustria, Soluciones tecnológicas para la Minería, Energía e Industria: <http://www.emb.cl/electroindustria/first.mvc>
- Elvatron S.A. (23 de Enero de 2020). Webinar: Calidad de Energía Eléctrica [Video]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=luUNElmEX24>
- Fluke. (2021). *Solución de problemas eléctricos de automoción*. Obtenido de Fluke: <https://www.fluke.com/>
- Gómez, J. (2019). *Análisis de la calidad de energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería en la Universidad de Cuenca [Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería]*. Repositorio Institucional.
- Holguín, M., & Gomezcoello, D. (2010). *Análisis de calidad de energía eléctrica en el "Nuevo Campus" de la Universidad Politécnica Salesiana [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Sede - Guayaquil]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2110/13/UPS-GT000145.pdf>

- IEC 61000-4-30+AMD1. (2021). Obtenido de International Electrotechnical Commission:
<https://webstore.iec.ch/publication/68642>
- IEC 61000-4-7+AMD1. (2008). *International Electrotechnical Commission*. Obtenido de IEC: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-7%7Bed2.0%7Db.pdf
- IEEE Std 519. (2014). Obtenido de IEEE Standards Association:
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1589263/mod_resource/content/1/IEE%20Std%20519-2014.pdf
- Jácome Segovia, R. D., & Vargas Cerda, H. N. (2019). *Análisis de calidad de energía eléctrica de la empresa florícola AGRORAB CIA LTDA. ubicada en el cantón Pujilí*. Latacunga.
- López Guerrero, E. (1977). *Sobrevoltajes, causas y medidas de protección [Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]*. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/502/1/1020123001.PDF>
- Mieles, L. F., & Molina, A. F. (2019). *Análisis de calidad de energía en el sistema eléctrico, de la empresa PROVEFRUT en el cantón Latacunga de ELEPCO S.A, para disminución de pérdidas de energía [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Cotopaxi]*. Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5585/1/PI-001113.pdf>
- Muñoz, D. G. (2021). *Análisis de la calidad de energía eléctrica en fábrica de lubricantes [Tesis de Ingeniería, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://201.159.223.180/bitstream/3317/16221/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-264.pdf>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (Febrero de 2018). *Instalaciones Eléctricas*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>

- Poyato, R. (2018). *Calidad eléctricas y pérdidas de energía en el cableado*. Obtenido de Voltimum: Webinar Fluke:
https://www.voltimum.es/sites/www.voltimum.es/files/pdflibrary/presentacion_webinar_fluke_31102017.pdf
- Ramos, E. D., & Riveros, S. (2018). *Análisis de la eficiencia energética y calidad de la energía eléctrica en la planta industrial de procesamiento de alimentos Agroindustrias Cirnma SRL en la región Puno [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional del Antiplano]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8910>
- Terán, D. (2012). *Propuesta de mejora en base al análisis de la calidad de eergía de los alimentadores N°5 y 6° de la subestación Lasso de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. usando la regulación del CONELEC N° 004/01. [Tesis de Preprado, Escuela Politécnica del Ejército]*. Repositorio Institucional.
- Yupanqui, C. (2021). *Selección de un sistema de filtros de armónicos para el mejoramiento de la calidad de la energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica [Mestría, UNPRG]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12893/9463>
- Zavala Valle, K. E. (2013). *Estudio de calidad de energía en sistemas eléctricos industriales [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio Centro Americano SIIDCA-CSUCA. Obtenido de <http://ribuni.uni.edu.ni/288/1/38652.pdf>

ANEXOS